

Bachelorarbeit

Vom GIS-Modell zur 3D-Landschaft – Ergänzungen und Workflowreview im „Uch-Enmek Modell“

eingereicht von Sebastian Zimmermann

geboren am 25.04.1993 in Dresden

zum Erlangen des Hochschulgrades
Bachelor of Science (B.Sc.)

Tag der Einreichung 29.04.2015

Betreuer Dr. rer. nat. Nikolas Prechtel
Technische Universität Dresden

Inhaltsverzeichnis

Abbildungen.....	7
Tabellen.....	9
1 Einleitung	10
1.1 Motivation und Zielsetzung	10
1.2 Gliederung der Arbeit	12
2 Geographische Einordnung des Bearbeitungsgebietes	14
3 Ausgangsmaterial.....	16
3.1 Hochauflösende Satellitenbilder.....	16
3.2 Luftbilder.....	16
3.3 Altai-GIS.....	17
3.4 Topographische Karten	18
3.5 Online-Kartendienste.....	18
4 Datenverarbeitung und Anpassung	20
4.1 Georeferenzierung.....	20
4.2 Digitale Bildverarbeitung	21
4.3 Typisierung und Klassifikation der Geoobjekte	22
5 Bewertung des Datenmaterials für die Informationsextraktion	26
6 Erstellung eines GIS-Modells für Karakol und Umgebung	30
6.1 Digitalisierung	30
6.1.1 Gewässer.....	30
6.1.2 Vegetation.....	31
6.1.3 Verkehrswege	32
6.1.4 Siedlungen und Landnutzung.....	33
6.1.5 Archäologische Elemente.....	34
6.2 Topologieprüfung.....	35
7 Erstellen eines TIN auf Basis eines Digitalen Geländemodells	37
7.1 Berücksichtigung von Bruchkanten	37
7.2 Integration der einzelnen Features in das TIN.....	40
8 Quantifizierung des Erfassungsaufwandes für das GIS-Modell	43

9	Umwandlung des GIS-Modells in ein 3D-Landschaftsmodell	47
9.1	Datenintegration in Cinema 4D	47
9.2	3D-Modellierung der Geoobjekte	48
9.2.1	Gewässer	48
9.2.2	Vegetation	50
9.2.3	Verkehrswege	52
9.2.4	Siedlungen und Landnutzung	53
9.2.5	Archäologische Elemente	54
9.3	Physikalischer Himmel	55
10	Zusammenfassung	56
10.1	Kritische Betrachtung des Karakol-Modells	56
10.2	Eignung der hersteller- und projektseitig geschaffenen Werkzeuge	58
10.3	Verbesserungsmöglichkeiten und Ausblick	59
	Literaturverzeichnis	61
	Anhang	64

Abbildungen

Abbildung 1: Luftbildszene eines skythischen Hügelgrabes im Karakol-Tal, aufgenommen durch ein Ultraleichtflugzeug des belgischen Forscherteams	10
Abbildung 2: Falschfarbendarstellung der IKONOS-Aufnahme für den zu bearbeitenden Geländeausschnitt	14
Abbildung 3: Ausschnitt aus der, aus dem Altai-GIS 100 abgeleiteten, Übersichtskarte	17
Abbildung 4: GoogleStreetView-Szene in Karakol	19
Abbildung 5: Gegenüberstellung des Pansharpening-Bildes (linke Bildhälfte) und der unbearbeiteten IKONOS-Aufnahme (rechte Bildhälfte)	22
Abbildung 6: weiß eingefärbte, felsige Berghänge als Resultat der Klassifikation	24
Abbildung 7: klassifizierte Felshänge (violett) und Wolken inklusive Wolkenschatten in ERDAS Imagine	27
Abbildung 8: die Siedlungsgebiete Karakol und Kurata im Altai-GIS 100, dargestellt in ArcMap	28
Abbildung 9: digitalisierter Gewässerverlauf südöstlich der Siedlung Kurata	31
Abbildung 10: digitalisierte Felshänge (braun), steinigtes Terrain (beige) und Wald-gebiete (grün) nördlich der Siedlung Karakol	32
Abbildung 11: vollständig digitalisierte Grundstücke in Karakol	34
Abbildung 12: Plan eines Tuekta-Kurgans aus Jettmar (1961) (links) und Kurgane nahe Karakol auf dem Pansharpening-Bild (rechts)	35
Abbildung 13: Vergleich zwischen IKONOS Pansharpening-Bild, DGM und TIN (von links nach rechts)	37
Abbildung 14: Straßenmitte (türkis) mit Stützpunkten (grün), Straßenränder (schwarz) und Thiessen-Polygone (rot)	38
Abbildung 15: TIN nach Integration der Bruchkanten für Verkehrswege	40
Abbildung 16: Flusslauf südlich von Kurata vor (links) und nach der manuellen Bearbeitung (rechts)	40
Abbildung 17: TIN mit symbolisierten Tag-Values, dargestellt in ArcScene	42
Abbildung 18: Einflussfaktoren für den Erfassungsaufwand eines GIS-Modells	46
Abbildung 19: Parameter für das Koordinatensystem zur Überführung von ArcGIS in die VRML	47
Abbildung 20: vollständig modelliertes Flussbett	49
Abbildung 21: orthogonal zueinander stehende Billboards für den Mischwald	50

Abbildung 22: Baum-Billboards, welche als „Klon“-Objekt auf dem Wald-Polygon platziert wurden	51
Abbildung 23: importierte 3D-Brückenobjekte von Dießner (2013)	53
Abbildung 24: um die Traufhöhe extrudierte Gebäudeklötze.....	53
Abbildung 25: gerenderter Ausschnitt des Siedlungsareals in Karakol	54
Abbildung 26: modelliertes Hügelgrab mit Grabkammer (links) und Kammer-Eingang (rechts).....	55

Tabellen

Tabelle 1: Spektrale Kanäle des Satelliten IKONOS (Prost, 2013).....	16
Tabelle 2: Parametertransformation der Projektion und des Datums (Schmid, 2011)	20
Tabelle 3: Affine Transformation der Satellitenbilder (Schmid, 2011)	21
Tabelle 4: Koordinaten des Bearbeitungsgebietes	21
Tabelle 5: Klassifikation der Geoobjekte für das Karakol-Modell nach Burckhardt (2011)...	25
Tabelle 6: Straßenbreiten für die Feature-Class roads nach Burckhardt (2011)	33
Tabelle 7: Abfolge der Integration der Objektklassen in das TIN nach Schmid (2011))	41
Tabelle 8: Quantifizierung des Arbeitsaufwandes für das GIS-Modell	45

1 Einleitung

1.1 Motivation und Zielsetzung

Der Naturpark Uch-Enmek im Zentrum der Republik Altai ist ein Gebiet von hoher sozio-kultureller Bedeutung. Sein Landschaftsbild wird nicht nur durch eine vielfältige Tier- und Pflanzenwelt, sondern auch durch eine hohe Dichte an prähistorischen Grabstätten, künstlerischen Monumenten sowie Naturdenkmälern geprägt. Der Park wurde im Jahr 2001 gegründet um das kulturelle Erbe der indigenen Bevölkerung zu schützen und das Bewusstsein für ihre Geschichte und den Naturraum zu fördern. (vgl. Dobson & Mamyev, 2010)

Bereits im Jahr 1995 begann die Technische Universität Dresden im Rahmen einer deutsch-russischen Kooperation mit der Erhebung und Vervollständigung von Geobasisdaten auf diesem Gebiet. Das primäre Ziel war der Aufbau einer hochwertigen Geodateninfrastruktur und die Erstellung einer Übersichtskarte des Zentralen Altai. Sechzehn Jahre später startete zudem eine Zusammenarbeit mit Archäologen der belgischen Universität Gent, wobei der Datenbestand um photographische Darstellungen und archäologische Vermessungen ergänzt werden konnte.



Abbildung 1: Luftbildszene eines skythischen Hügelgrabes im Karakol-Tal, aufgenommen durch ein Ultraleichtflugzeug des belgischen Forscherteams

Die gesammelten Geodaten sind von großer Bedeutung für die Parkadministration sowie den Aufbau eines innovativen Tourismus-Konzepts für den Naturpark Uch-Enmek. In den letzten Jahren wurde auf Grundlage der stetig verfeinerten und ergänzten Daten mit der Umwandlung des GIS-Modells in ein dreidimensionales Landschaftsmodell begonnen. Dies bringt mehrere Vorteile mit sich, da Landschaftsmodelle meist die einzige Möglichkeit sind, bereits vor Ankunft einen guten Überblick über das Gebiet zu erhalten (vgl. Blaschke, et al.,

2006). Diese Darstellungsart ist instinktiv verständlich und visuell ansprechend, so dass sich zum Beispiel interessierte Besucher bereits vor Ankunft schnell und einfach einen Überblick verschaffen bzw. Interesse für das jeweilige Gebiet entwickeln können (vgl. Schmid, 2011).

Nach derzeitigem Stand verfügt das Forschungsteam über ein qualitativ hochwertiges Landschaftsmodell des Ortes Tuekta und seiner Umgebung, angereichert mit thematischen Elementen aus dem Bereich der Archäologie durch Burckhardt (2011) und Schmid (2011). In seiner Arbeit zur Entwicklung dieses Modells stellt der letztgenannte Autor zudem Denkansätze über eine Steigerung der Interaktivität zwischen Nutzer und Modell vor. Durch Echtzeitnavigation oder Verlinkung von Modellen von topographisch benachbarten Orten wird laut Schmid eine gezielte Datenextraktion beschleunigt und die Attraktivität für den Nutzer gesteigert. Im Rahmen seiner Diplomarbeit entwickelte Schubert (2013) bereits eine web-basierte Applikation für den Ethno-Nature Park Uch-Enmek, welche durch zahlreiche Interaktionsmöglichkeiten archäologische Informationen für den Nutzer zugänglich macht.

Der Nutzen eines dreidimensionalen Landschaftsmodells steigt mit einer ansteigenden Datendichte und der Erweiterung des dargestellten Gebietes im Allgemeinen. Die Informationsextraktion durch den Nutzer erfolgt in der Regel auf einem niedrigeren Abstraktionsniveau als bei zweidimensionalen Produkten und erleichtert die Interaktion mit dem Modell als auch die Kommunikation mehrerer Parteien mithilfe eines Solchen (vgl. Nordberg, 2010). Schließlich entspricht diese dreidimensionale Art des Sehens der natürlichen Sehweise des Menschen (vgl. Mach & Petschek, 2006). Die Vermarktung des Naturparks für öko-touristische Zwecke kann effizienter gestaltet werden und auch die Parkverwaltung profitiert von einer detailreichen Darstellung. Desweiteren eignen sich die Modelle als Grundlage für weitere geologische oder archäologische Forschungen.

Auf Basis der bisher entstandenen Modelle setzt sich diese Arbeit mit der Bewertung des existenten Workflows von den Primärdaten bis zum 3D-Modell sowie der Quantifizierung des Erfassungsaufwandes für das GIS-Modell auseinander. Es wird geklärt, ob sich die Arbeitsabläufe für andere Areale im Naturpark Uch-Enmek eignen bzw. inwieweit der zeitliche Aufwand an gewisse Landschaftsmerkmale gebunden ist. Durch Anwenden des Arbeitskonzeptes auf die Siedlung Karakol und deren nahe Umgebung soll zudem der existierende Modellraum nach Osten erweitert werden.

Ergänzend ist zu erwähnen, dass aufgrund der geographisch-politischen Lage des Untersuchungsgebietes einzelne Begriffe in kyrillischer Schrift vorliegen und für deren Übernahme einheitlich auf die Translationsnorm GOST 7.79-2000 zurückgegriffen wurde (Transliteraciya GOST 7.79-2000, 2000).

1.2 Gliederung der Arbeit

Diese Arbeit beinhaltet zunächst eine geographische Einordnung des für das Modell relevanten Bearbeitungsausschnittes. Anschließend werden die verschiedenen Datenquellen in Kapitel 3 näher beschrieben. Dabei wird sowohl auf die Struktur der einzelnen Primärquellen als auch auf deren konkreten Umfang an Informationen eingegangen. Nachdem die unterschiedlichen Quelltypen abgehandelt sind, wird im vierten Kapitel die Datenverarbeitung als wichtiger Arbeitsschritt thematisiert. Oft muss das Bild- oder Kartenmaterial nachträglich georeferenziert oder digital bearbeitet werden. Im letzten Abschnitt der vierten Thematik werden die einzelnen Landschaftsobjekte in verschiedene Kategorien unterteilt und mithilfe der zuvor editierten Primärquellen klassifiziert. Dabei soll ein Augenmerk auf den Stärken und Schwächen des Ausgangsmaterials liegen. Diese Bewertung ist Inhalt des darauffolgenden Kapitels.

Im Anschluss daran beginnt die Dokumentation zur Erstellung des Karakol-Modells mithilfe der Software ArcGIS. Zu einem großen Teil umfasst sie die Digitalisierung der unterschiedlichen Objektklassen. Bei der schriftlichen Erläuterung zu diesem Prozess werden die Unterthemen Gewässer, Vegetation, Verkehrswege, Siedlungen und Landnutzung sowie archäologische Elemente getrennt behandelt. Die Prüfung der Topologie ist für die Fertigstellung eines GIS-Modells unabdingbar und ebenfalls Gegenstand von Kapitel 6.

Ist die Bearbeitung des zweidimensionalen Modells soweit abgeschlossen, kann in Kapitel 7 mit der Erstellung eines Triangulated Irregular Networks begonnen werden. Dabei wird zunächst die Erstellung von Bruchkanten beschrieben und im Anschluss die Integration aller Objekte in das Netzwerk vollzogen.

Neben der Durchführung und Bewertung des Arbeitsablaufes zur Erstellung eines GIS-Modells für das Altai-Projekt verfolgt diese Arbeit ein weiteres Ziel. Es soll versucht werden, die Dauer für die Durchführung dieses Workflows zu definieren. Diese Einschätzung ist in Kapitel 8 nachzulesen.

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird die Umwandlung des GIS-Modells in ein dreidimensionales Landschaftsmodell schriftlich festgehalten und erläutert. Die Themen dieses neunten Kapitels sind der Import des zweidimensionalen Modells in die 3D-Software Cinema 4D sowie die Bearbeitung der Polygone mithilfe dieses Programmes. Nachdem in diesem Abschnitt auf die Modellierung der Objekte, die unterschiedlichen Materialien und die Beleuchtungseinstellungen für den Rendering-Vorgang eingegangen wird, folgt abschließend eine Zusammenfassung des praktischen Teils.

Dabei werden mögliche Schwachstellen aber auch Stärken des geschaffenen Karakol-Modells beschrieben und im Bearbeitungsprozess verwendete Werkzeuge, sowohl hersteller- als auch projektseitig geschaffen, bewertet. Der Schlussteil dieses zehnten Kapitels befasst sich mit Verbesserungsmöglichkeiten und Vorschlägen zur Erweiterung der bis zu diesem Zeitpunkt geschaffenen Strukturen innerhalb des Modells.

2 Geographische Einordnung des Bearbeitungsgebietes

Das zu bearbeitende Areal befindet sich in der Republik Altai im asiatischen Teil der Russischen Föderation. Die autonome Republik im Südwesten des Föderationskreises Sibirien erstreckt sich über den nördlichen Teil des Altai-Gebirges und grenzt im Südosten an die Mongolei, im Süden an China sowie im Südwesten an Kasachstan. Im Zentrum befindet sich das Schutzgebiet Uch-Enmek, welches Gegenstand des existierenden dreidimensionalen Landschaftsmodells ist. Es wird von den Flüssen Karakol und Ursul durchzogen und beherbergt insgesamt sechs Siedlungen, unter anderem den Ort Tuekta, welcher bereits dreidimensional modelliert wurde. Östlich davon befinden sich die Orte Karakol und Kurata. Wird dem Karakol-Fluss in Richtung Süden gefolgt, werden die Siedlungen Bichiktu-Boom, Boochi und Kulada erreicht.

Der Modellraum in dieser Arbeit umfasst eine Fläche von circa 33 Quadratkilometer (km²) und schließt östlich an das Tuekta-Modell an, wobei es zu einer geringen Überschneidung kommt. Die Nord-Süd- als auch die Ost-West-Ausdehnung betragen gerundet 5,78 Kilometer und beinhalten die Orte Karakol und Kurata, das Mündungsgebiet der gleichnamigen Flüsse in den Fluss Ursul sowie die direkt angrenzenden Bergkämme.

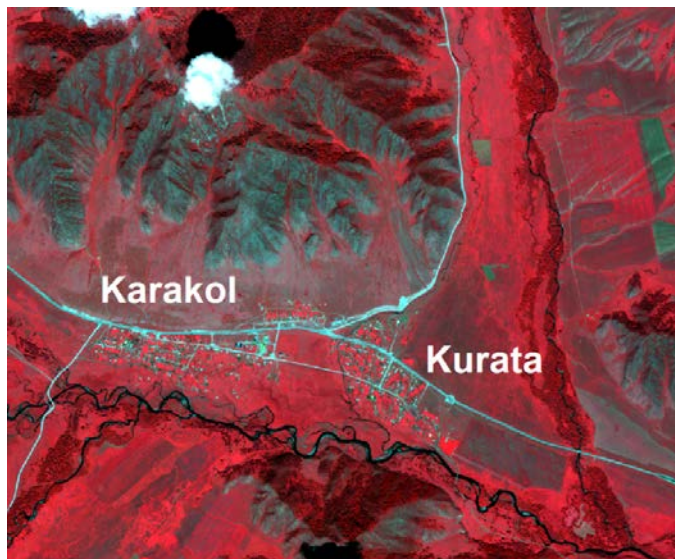


Abbildung 2: Falschfarbendarstellung der IKONOS-Aufnahme für den zu bearbeitenden Geländeausschnitt

Das Landschaftsbild im Zentrum der Republik Altai wird durch schneebedeckte Berggipfel, hohe Gebirgsebenen und die tief eingeschnittenen Flusstäler geprägt. Bergwälder,

Bergtrundren und subalpine Wiesen bedecken einen Großteil dieser Region mit Höhenlagen zwischen 900 Metern (m) und 2.800 m über dem Meeresspiegel. Neben Kiefern, welche 60% (Geografiya, Priroda, Istoriya, 2013) der Waldfläche einnehmen, sind vor allem Birken und Lärchen weit verbreitet. Wegen der vielfältigen Flora und Fauna mit zahlreichen indigenen Arten gehören Teile der Republik Altai bereits zum UNESCO-Weltkulturerbe (vgl. Han, 2008).

Siedlungen sind in der mit 1,34 Einwohnern pro Quadratkilometer (Geografiya, Priroda, Istoriya, 2013) dünn bevölkerten Verwaltungseinheit, dem Rajon Ongudai, hauptsächlich in den Tälern zu finden (vgl. Prectel & Buchroithner, 2002). In vielen Gebieten finden sich kaum anthropogene Spuren. Der Ort Karakol ist mit seinen 453 Bewohnern (Karakol'skoe Sel'skoe Poselenie, 2013) bereits einer der Größeren im gleichnamigen Tal. Die Mehrheit der überwiegend ansässigen indigenen Bevölkerung lebt traditionell von „der Viehwirtschaft, der Jagd und der Rotwildhaltung“ (Dobson & Mamyev, 2010).

Um ihre kulturellen Heiligtümer, antiken Grabstätten und Felszeichnungen der skythischen Kultur sowie Naturmonumente zu schützen, wurde der Ethno-Naturpark Uch-Enmek gegründet. Sein Areal erstreckt sich über 600 km² (Dobson & Mamyev, 2010) und umfasst das komplette Karakol-Tal. Der Park wird dominiert durch den namensgebenden Berg Uch-Enmek und schließt die oben genannten Siedlungen sowie die zahlreichen archäologischen Grabstätten ein. Das Karakol-Tal ist der bedeutsamste Fundort von Relikten des Reiternomadenvolkes der Skythen, welche sich 900-300 v.Chr. in den Steppengebieten des Altai aufhielten (vgl. Schmid, 2011).

3 Ausgangsmaterial

3.1 Hochauflösende Satellitenbilder

Für die Bearbeitung stehen zwei Bildstreifen des IKONOS-Satelliten zur Verfügung. Er wurde im Jahr 1999 in die Erdumlaufbahn gebracht und wird von der US-amerikanischen Firma GeoEye betrieben. IKONOS umkreist die Erde in 681km Höhe und folgt dabei einer sonnen-synchronen Laufbahn. Die Aufnahme der meist 11x11km breiten Streifen erfolgt durch einen panchromatischen Kanal mit einer Auflösung von 82 Zentimetern und vier multispekt-rale Kanäle mit einer Auflösung von 3,2 Metern. (vgl. Prost, 2013)

Wellenlänge	Kanal
445-516nm	blau
506-595nm	grün
632-698nm	rot
757-853nm	Nahes Infrarot (NIR)
450-900nm	panchromatisch

Tabelle 1: Spektrale Kanäle des Satelliten IKONOS (Prost, 2013)

Für das GIS-Modell von Karakol ist nur eine der beiden Satellitenaufnahmen von Bedeu-tung. Der Streifen 42, aufgenommen am 03.08.2007 um 05:16Uhr GMT, zeigt das Karakol-Tal vom Siedlungsbereich am Fluss Ursul im Norden bis zum Breitengrad des Ortes Kulada im Süden.

Der Anteil der Wolkenbedeckung zum Aufnahmezeitpunkt betrug 17%, wobei sich im Bear-beitungsgebiet nur zwei kleinere Wolkenformationen befinden. Sie verdecken Teile der nördlichen und südlichen Bergkämme, beeinflussen allerdings nicht die Auswertung der Geländedaten für die Talflächen. Der bereitgestellte Datensatz im GeoTIFF-Format bezieht sich auf das WGS84 und beinhaltet Koordinatenangaben im UTM Format. Verwendet wur-de eine Transversale Mercator-Projektion für den Meridianstreifen 45 auf der nördlichen Hemisphäre.

3.2 Luftbilder

Archäologen der Universität Gent widmeten sich im Zeitraum von 2007 bis 2009 intensiv der Erkundung und der Geländeaufnahme im zentralen Altai. In Zusammenarbeit mit der Staatlichen Universität Gorno-Altai wurden einige Teilgebiete des Naturparks Uch-Enmek mit einem Leichtflugzeug überflogen und ihr Erscheinungsbild photographisch festgehalten.

Da sie sich bei der Aufnahme auf archäologisch relevante Elemente konzentrierten, zeigen die Luftbilder überwiegend Hügelgräber unterschiedlicher Größe.

3.3 Altai-GIS

Eine weitere wichtige Datenquelle ist das Geoinformationssystem „ALTAI 100“. Die topographischen Daten wurden durch die Technische Universität Dresden erhoben und eingefügt, für die archäologischen Informationen war die Universität Gent in Belgien zuständig.

Als geodätische Referenz wurde das System 42/83, bezogen auf das Krassovskij-Ellipsoid mit dem Zentralpunkt in Pulkowo, verwendet. Für den Kartennetzentwurf wurde das Gauß-Krüger-Koordinatensystem mit sechs Grad breiten Streifen und den 15. Mittelmeridian auf 87° östlicher Länge genutzt. (vgl. Prectel, 2003)

Das kartierte Gebiet zeigt den zentralen Teil der Republik Altai vom Tenginski-See im Norden bis zum nördlichen Teil des Terehta-Kamms inklusive dem Berg Uch-Enmek im Süden. In Ost-West-Richtung erstreckt sich der Kartenausschnitt vom Berg Janu bis zum Ort Ongudai und umfasst somit auch das gesamte Karakol-Tal.

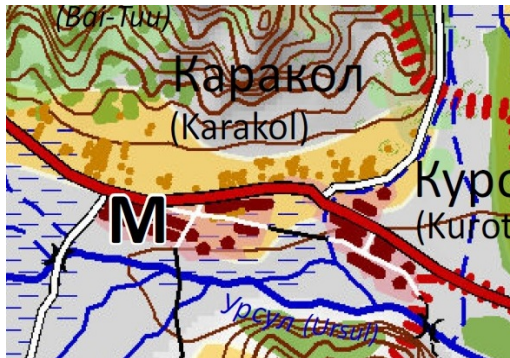


Abbildung 3: Ausschnitt aus der, aus dem Altai-GIS 100 abgeleiteten, Übersichtskarte

Entsprechend dem Aufnahmemaßstab von 1:100.000 werden die natürlichen und anthropogenen Landschaftselemente teilweise stark geometrisch bzw. sachlich generalisiert wiedergegeben. Benachbarte Gebäude bzw. ihre Anbauten sowie Nebengebäude werden aggregiert als Häusersiedlungen dargestellt oder ausgelassen. Erläuterungen zu diesen Generalisierungstechniken geben Hake, Grünreich & Meng (2002). Die wichtigsten Verkehrswege wurden erfasst und nach Bedeutung und Untergrundbeschaffenheit klassifiziert. Unberücksichtigt blieben nicht offiziell angelegte Verkehrswege, wie zum Beispiel Graspfade. Die verschiedenen Flussläufe sind nach ihrer Breite ebenfalls geordnet und verschaffen dem Betrachter einen guten Überblick über das dichte Netz an Flussarmen.

Der Höhengschichtenplan hat eine Äquidistanz von 40 Metern und wird durch zahlreiche Höhenpunkte in der Karte ergänzt. Sowohl felsiger Untergrund als auch einzelne dominante Felsen sind in der Karte individuell dargestellt. Anhand der archäologischen Datenbestände ist das Forschungsareal in verschiedene Einzugsbereiche unterteilt wurden. Die entdeckten Petroglyphen wurden gemäß ihrer Anzahl an den entsprechenden Orten durch symbolhafte Signaturen mit gestuften Mengenwerten ergänzt.

Aus den Geländedaten für das Altai-GIS wurde zudem ein Digitales Geländemodell, kurz DGM genannt, abgeleitet. Dieses wurde im Jahr 2011 durch Schmid (2011) im Rahmen seiner Diplomarbeit bereits verbessert und steht in seiner modifizierten Version zur Verfügung.

3.4 Topographische Karten

Außerdem stehen die drei topographischen Kartenblätter „Kulada“, „Sytyrla“ und „Ust-Kurata“ aus dem privaten Bestand von Herr Dr. Nikolas Prectel zur Verfügung. Das hierfür relevante Blatt Ust-Kurata im Maßstab 1:25.000 beinhaltet die Siedlungsgebiete Karakol, Kurata und Bichiktu-Boom sowie das Mündungsgebiet des Karakol-Flusses in den Ursul.

Während die Gewässerstruktur, entsprechend des Maßstabes, detailliert wiedergegeben wird, sind die Häusersiedlungen erneut stark generalisiert. Bei einem Vergleich mit anderen Primärquellen kann desweiteren festgestellt werden, dass nur größere Verkehrswege abgebildet sind, kleinere unbefestigte Wege wurden nicht vermerkt. Das Kartenblatt verfügt über einen Höhengschichtenplan mit einer Äquidistanz von 10 Metern und enthält mehrere Höhenpunkte. Zusätzlich dazu finden sich in den Bergregionen vereinzelt Böschungsschraffuren.

Die Kartenblätter liegen bereits gescannt und georeferenziert vor. Als geodätische Referenz wurde ebenfalls das System 42/83 mit Zentralpunkt in Pulkowo und dem Krassovskij-Ellipsoiden verwendet.

3.5 Online-Kartendienste

Ergänzend zu den bisher genannten Primärdaten können auch die Daten unterschiedlicher Online-Kartendienste herangezogen werden. Im Konkreten sind sowohl GoogleMaps (www.google.com/maps) als auch BingMaps (www.bing.com/maps) von Nutzen für den Prozess der Informationsgewinnung.

Der von der Firma Microsoft betriebene Dienst BingMaps greift auf Satellitenbilder zurück, welche sogar für die Altai-Region eine höhere Auflösung als die IKONOS-Aufnahmen besitzen. Das Bearbeitungsgebiet mit seinen verschiedenen Geoobjekten ist gut erkennbar und wird an keiner Stelle von Wolken verdeckt. Letzteres kann vor allem dazu beitragen, Unklarheiten nach der Digitalen Bildauswertung des IKONOS-Streifen zu beseitigen.

Satellitenbilder, die von GoogleMaps zur Verfügung gestellt werden, können aufgrund ihrer niedrigen Auflösung im Altai-Gebirge vernachlässigt werden. Im Gegensatz dazu liefern die Bilder des Zusatzdienstes GoogleStreetView allerdings wichtige Informationen. Sie sind hochauflösend und zeigen das Einzugsgebiet der Fernstraße M52, welche die Orte Tuekta, Karakol und Kurata mit dem Verwaltungszentrum Ongudai verbindet. Die sich in der Nähe der Straße befindenden Grundstücke sind gut zu erkennen und lassen Rückschlüsse auf die Bauweise der Häuser sowie die Art der lokalen Bäume und Sträucher zu.



Abbildung 4: GoogleStreetView-Szene in Karakol

4 Datenverarbeitung und Anpassung

4.1 Georeferenzierung

Für den Aufbau des GIS-Modells ist es notwendig, die Daten der primären Quellen zu georeferenzieren. Ihnen werden raumbezogene Informationen zugeordnet, um widerspruchsfreie geometrische Beziehungen zu garantieren (vgl. Hake, Grünreich, & Meng, 2002).

Die Topographischen Karten liegen bereits rektifiziert und entzerrt vor und können ohne weiteres direkt in den Digitalisierungsprozess eingebunden werden.

Bei den hochauflösenden Satellitenbildern des IKONOS-Satelliten hingegen muss diese Anpassung noch vorgenommen werden, bevor mit der Klassifikation der Geoobjekte begonnen wird. Bei der Produktentwicklung wurde, wie in 3.1 erwähnt, das WGS84 als Geodätisches Datum verwendet. Für die Bearbeitung des Karakol-GIS soll jedoch einheitlich das System 42/83 (Pulkowo-Datum) mit dem Referenzellipsoiden Krassovskij verwendet werden. Die Transformation der Daten erfolgt nach demselben Prinzip wie bei Schmid (2011) mit der Software ERDAS Imagine 2011 bzw. 2013.

Zunächst werden die vier einzeln vorliegenden Aufnahmen für blaues, grünes und rotes sichtbares Licht sowie für nahes Infrarot zu einer Datei zusammengefügt, um die Datenverarbeitung zu simplifizieren. Für die Fusionierung nutzt der Bearbeiter die Funktion „Layer Stack“. Die vier Layer werden nacheinander hinzugefügt und ein einzelnes multispektrales Bild erstellt.

Anschließend folgt für dieses Bild eine Transformation der Parameter entsprechend den Projektionseigenschaften, realisiert durch die Funktion „Add/Change Projection“:

Projection Type:	Transverse Mercator
Spheroid Name:	Krassovsky
Datum Name:	System 42/83 (Pulkowo)
Scale factor at central meridian:	1
Longitude of central meridian:	87:00:00.00 E
Latitude of central meridian:	00:00:00.00 N
False easting:	15500000.00 meters
False northing:	0.00 meters

Tabelle 2: Parametertransformation der Projektion und des Datums (Schmid, 2011)

Im nächsten Schritt muss der Lageversatz gegenüber dem archäologischen Datensatz behoben werden. Dieser wird, wie Schmid (2011) in seiner Diplomarbeit näher erläutert hat, als

lagerichtig angenommen. Die notwendige affine Transformation des multispektralen und des panchromatischen Bildes wird durch eine Änderung der X- und der Y-Koordinate für die Pixel in der jeweils linken oberen Bildecke erreicht (Funktion „Change Map Model“):

Werte für das multispektrale Bild		Werte für das panchromatische Bild	
Upper Left X:	15417715.6400	Upper Left X:	15417716.1197
Upper Left Y:	5636258.5300	Upper Left Y:	5636260.1473

Tabelle 3: Affine Transformation der Satellitenbilder (Schmid, 2011)

4.2 Digitale Bildverarbeitung

Um die weitere Bearbeitung der Satellitenaufnahmen durch ERDAS Imagine zu beschleunigen und um einen besseren Überblick über den Ort Karakol und seine Umgebung zu haben, wird das konkrete Bearbeitungsgebiet ausgeschnitten. Wie in Kapitel 2 beschrieben, wurde die westliche Grenze so gewählt, dass das Model das bereits vorhandene Tuekta-Modell um einige Meter überschneidet.

Durch eine Inquire-Box werden die Ausdehnungen bestimmt und die Koordinaten gespeichert. Die erhaltenen Werte für die Pixel in der oberen linken Ecke sowie in der unteren Rechten können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden.

Werte für das multispektrale Bild	
Upper Left X:	15424126.52
Upper Left Y:	5636431.35
Lower Right X:	15429900.12
Lower Right Y:	5629643.35

Tabelle 4: Koordinaten des Bearbeitungsgebietes

Die Koordinaten werden automatisch in die Funktion „Create Subset Image“ übernommen, welche sowohl auf das multispektrale als auch das panchromatische Bild angewandt wird. Im Nachfolgenden wird ausschließlich mit den zurechtgeschnittenen Aufnahmen gearbeitet und sich dabei am Workflow des Tuekta-GIS-Modells von Schmid (2011) orientiert.

Für den Digitalisierungsprozess wird eine hohe Auflösung benötigt, um korrekte Aussagen zu Details wie Dachstrukturen oder kleineren Verkehrswegen zu ermöglichen. Da die Pixelgröße für die multispektralen Kanäle jedoch nur 3,2m beträgt, bietet sich eine Bildfusionierung an. Mittels der modifizierten IHS-Transformation wird ein zufriedenstellendes Ergebnis erreicht. Bei dieser Methode werden die RGB (Rot-Grün-Blau) - Bänder in den Intensity-Hue-Saturation-Farbraum (IHS) konvertiert und die Intensity-Komponente durch das hoch-

auflösende panchromatische Bild ersetzt (vgl. Prost, 2013). Nach inverser Transformation in den RGB-Farbraum steht als Resultat ein sogenanntes Pansharpning-Bild mit einer Auflösung von 0,82m zur weiteren Bearbeitung zur Verfügung.



Abbildung 5: Gegenüberstellung des Pansharpning-Bildes (linke Bildhälfte) und der unbearbeiteten IKONOS-Aufnahme (rechte Bildhälfte)

4.3 Typisierung und Klassifikation der Geoobjekte

Um das Modell möglichst realitätsnah aufzubauen, ist es unabdinglich die einzelnen Objekte der Landschaft so präzise wie es die Datenquellen zulassen zu erfassen und entsprechend zu visualisieren. Voraussetzung dafür ist die Festlegung einzelner Objektklassen (Feature Classes) und Unterkategorien (Subtypes). Um die nötigen Informationen aus den Primärdaten zu extrahieren, werden die physiognomischen und spektralen Eigenschaften der unterschiedlichen Geoobjekte genutzt.

Um für eine einheitliche Datenstruktur in den existierenden GIS-Modellen und dem Entstehenden zu sorgen, wird der bereits durch Burckhardt (2011) und Schmid (2011) verwendete Klassifikationsschlüssel angewandt. Für die Digitalisierung der konkreten Objektgruppen wird erneut auf die Software ERDAS Imagine zurückgegriffen.

Da Wasser im nahen Infrarotbereich nahezu die gesamte Strahlung absorbiert und im sichtbaren Licht ein im Vergleich zu anderen Oberflächen hohen Anteil reflektiert, ist es möglich, die Flussläufe mithilfe einer geeigneten Kalkulation vom Rest der Objekte (Features) zu trennen. Werden die Differenzen der bandspezifischen Reflexionswerte unter der Bedingung gebildet, dass das Band mit der kürzeren Wellenlänge jeweils als Dividend definiert ist, so ergeben sich für Gewässer stets positive Ergebnisse. Durch eine, im Anhang A dieser

Arbeit zu findende, geeignete Funktion entsteht aus dem multispektralen Satellitenbild ein binäres Raster, welches ausschließlich die gesuchten Objekte wiedergibt.

Eine ähnliche Methodik kann auch für die Vegetationsflächen verwendet werden. Pflanzenwuchs wird durch sein charakteristisches Reflexionsverhalten sichtbar. Blattpigmente wie das Chlorophyll absorbieren das sichtbare Licht stark, da sie Sonnenenergie für die Photosynthese benötigen. Die Zellstruktur der Blätter reflektiert einen hohen Anteil des Nahen Infrarots (NIR). (vgl. Ormalm & Andersson, 2010)

Diese Eigenschaften ausnutzend, wurde der Normalized Differenced Vegetation Index (kurz: NDVI) entwickelt:

$$(\text{Reflexionswerte NIR} - \text{Rot}) / (\text{Reflexionswerte NIR} + \text{Rot}).$$

Unter Zuhilfenahme dieses Wertes lassen sich Vegetationsflächen hervorheben. Die Indizes werden berechnet und auf die gesamte 8 bit - Tonweite gestreckt. Anschließend können, anhand charakteristischer Reflexionswerte, Vegetationen von vegetationslosen Räumen unterschieden als auch verschiedene Subtypen klassifiziert werden. Wälder haben geringere NDVI-Werte als zum Beispiel Wiesen, reflektieren im Gegensatz dazu jedoch den grünen Teil des sichtbaren Lichts stärker (vgl. Avci & Akyürek, 2004). Im Anhang A ist die gesamte Kalkulation aufgeschlüsselt, die Grenzbereiche sind das Resultat mehrerer Testversuche. Wie Schmid (2011) bereits erklärte, ist es sinnvoll Wiesen bzw. Grünflächen später dem gesamten Untergrund des Modellraumes zuzuweisen. Dadurch werden nicht-klassifizierte Stellen im Gelände verhindert. Aus diesem Grund wird auch hier auf eine separate Erstellung eines Rasterdatensatzes für diese Art der Bodenbedeckung verzichtet.

Erforderlich ist allerdings eine Aufnahme des felsigen Untergrundes der südexponierten Gebirgshänge. Da die Felsen, vor allem im Norden und Süden des Areals, das Landschaftsbild zwischen den Bergwäldern stark prägen, müssen hierfür gesonderte Objektklassen erstellt werden. Um ein möglichst realitätsnahes Modell zu entwickeln, wird in hervortretende Felsen in höheren Lagen (Klasse Rocky slope) und das steinige Übergangsgebiet zur Wiesenlandschaft (Klasse Stony terrain) unterschieden. Da dieses Terrain ähnliche spektrale Eigenschaften besitzt wie andere kaum bzw. nicht bewachsene Flächen, muss auf einen gesonderten, wissensbasierten Klassifikationsansatz zurückgegriffen werden, um den felsigen Untergrund von Straßen, Wegen oder Äckern zu trennen. Als Resultat eines Trial-and-Error-Prozesses ergeben sich charakteristische Merkmalsräume, welche eine Identifikation

der beiden neuen Klassen ermöglichen. Die exakten Grenzwerte sind ebenfalls im Anhang A zu finden.



Abbildung 6: weiß eingefärbte, felsige Berghänge als Resultat der Klassifikation

Im Zusammenhang mit der Verkehrsinfrastruktur sowie den Siedlungen kann nicht auf die Werkzeuge und Methoden der Digitalen Bildverarbeitung zurückgegriffen werden. Für solche Zwecke ist die Auflösung der IKONOS-Daten nicht ausreichend. Durch Betrachtung der Satellitenaufnahme nach dem Pansharpening sowie unter Berücksichtigung der Topographischen Karten und den GoogleStreetView-Aufnahmen lassen sich Straßen- und Gebäude-Typ jedoch überwiegend gut identifizieren.

Im Gegensatz zum Tuekta-Projekt liegen für dieses Modell keine GPS-Daten zu den archäologischen Strukturen vor. Aus diesem Grund muss auf eine Differenzierung der unterschiedlichen Fundstellen verzichtet werden. Ausschließlich Hügelgräber können im späteren Verlauf anhand ihrer charakteristischen Form in den IKONOS-Aufnahmen identifiziert und digitalisiert werden.

Der bisherige Klassifikationsschlüssel wurde um die neu erstellte Klasse ergänzt und ist in seiner Gesamtheit in Tabelle 5 abgebildet. Im Rahmen dieses Projektes wurden einzelne Objektbeschreibungen umbenannt bzw. neu übersetzt. Wie bei den vorherigen Projekten wurde für jeden Objekttyp ein ClassCode zur besseren Handhabung festgelegt.

Feature –Dataset: hydro

Feature Class	Objekttyp	Beschreibung	Code
river	Watercourse	Flusslauf	31100

Feature –Dataset: buildings

Feature Class	Objekttyp	Beschreibung	Code
buildings	Dwelling (hip roof)	Wohnhaus (Satteldach)	44110
	Dwelling (gable roof)	Wohnhaus (Walmdach)	44120
	Barn (gable roof)	Scheune (Satteldach)	44200
	Stable (gable roof)	Stall (Satteldach)	44220
	Cabin (gable roof)	Hütte (Satteldach)	44330
	Cabin (pult roof)	Hütte (Pulldach)	44350
	Annexe (pult roof)	Anbau (Pulldach)	44400
	Ruin (without roof)	Ruine (ohne Dach)	44500
fences	Fence	Zaun	-

Feature –Dataset: roads

Feature Class	Objekttyp	Beschreibung	Code
roads	Arterial road	Fernstraße	62120
	Communal road (>3,5m wide)	Gemeindestraße (> 3,5m)	62230
	Communal road (≤ 3,5m wide)	Gemeindestraße (≤ 3,5m)	62240
	Unimproved road	Unbefestigte Straße	62300
	Bridleway	Reitweg	62340

Feature –Dataset: landcover

Feature Class	Objekttyp	Beschreibung	Code
forest	Forest	Wald	71000
rocky	Rocky slope	Felshang	75000
stony	Stony terrain	Steiniges Gelände	76000
landuse	Grassland	Undefiniertes Grünland	77000
	Garden / Cultivated area	Garten / Ackerland	77710
	Built-up area	Bauland	77720

Feature-Dataset: archaeo

Feature Class	Objekttyp	Beschreibung	Code
archaeo	Kurgan	Hügelgrab	90120

Tabelle 5: Klassifikation der Geoobjekte für das Karakol-Modell nach Burckhardt (2011)

5 Bewertung des Datenmaterials für die Informationsextraktion

Während der vorherigen Arbeitsschritte wurde ersichtlich, dass sich eine Vielzahl an Informationen aus dem vorhandenen Datenmaterial gewinnen lässt. An einigen Stellen der Bearbeitung wird jedoch die Grenze des Möglichen erreicht, ohne die bekannten Methoden und Verfahren vollständig ausschöpfen zu können.

Der Datensatz an hochauflösenden IKONOS-Daten eignet sich problemlos zur in 4.3 erläuterten Klassifikation des Bearbeitungsgebietes. Im Rahmen dieser Arbeit konnte sogar der bisherige Objektartenkatalog um eine zusätzliche Objektgruppe erweitert werden. Wie Schmid (2011) allerdings schon erwähnte, würde eine Untergliederung der Waldbestände, nach Baumart bzw. Vitalität, das Modell bereichern und in der dreidimensionalen Ansicht für einen realitätsnäheren Eindruck sorgen. Sogenannte Mischpixel, Datenwerte zusammengesetzt aus den Reflexionsmerkmalen mehrerer Klassen (vgl. Buchroithner, 1989), erschweren jedoch eine genauere Klassifizierung. Für eine detailliertere Erfassung wäre zunächst eine Segmentierung der Bilder notwendig, wie bei Griebmann (2007). Aus zeitlichen Gründen soll diese Bearbeitungsvariante in der vorliegenden Arbeit allerdings keine Anwendung finden. Unter diesen Umständen sind Laubbäume mit einem, im Vergleich zu Nadelbäumen, hohen NDVI-Wert (vgl. Avci & Akyürek, 2004) nicht ausfindig zu machen. Dafür benötigt der Bearbeiter Primärdaten von höherer räumlicher Auflösung. Eine Daumenregel besagt, dass der Kartenmaßstab bei Aufnahmen mit einer Pixelgröße von einem Meter maximal 1:10 000 (Jacobsen, 2003) betragen kann. Mit Satellitenbildern höherer geometrischer Auflösung sinkt die Anzahl an Mischpixeln, womit eine Klassifikation neuer Objektklassen sowie eine präzisere Gewässerdetektion wahrscheinlich wäre (vgl. Buchroithner, 1989).

Die zuletzt genannte Erkennung der Flussverläufe gestaltet sich im Bearbeitungsgebiet allgemein problematisch, da der Wasserspiegel stark mit der Schneeschmelze im Altai korreliert. Vor allem in den Frühlingsmonaten führen die Gewässer reichlich Wasser, wodurch eine Identifizierung durch Satellitenaufnahmen begünstigt wird. Im niederschlagsarmen sibirischen Sommer trocknen einige der kleineren Seitenarme komplett aus und sind nur noch schwer in das Modell zu übertragen. Die für das Karakol-Modell vorliegenden Bilder wurden im August durch GeoEye aufgenommen und sind daher nicht optimal zur Gewässerklassifikation geeignet.

Der Anteil der Wolkenbedeckung am Gesamtbild des Streifens 42 beträgt 17% und liegt damit sogar 3% unter der von GeoEye genannten Höchstgrenze. Im konkreten Fall wird nur ein für die Landschaftsmodellierung weniger relevanter Teil des Karakol-Tals verdeckt. Die verborgenen Areale an den Bergkämmen können zum Teil manuell nachbearbeitet werden, ohne das Relief an dieser Stelle untypisch zu digitalisieren. Es lässt sich zusammenfassen, dass die Genauigkeit von der Anzahl der Wolken und der Granularität der betroffenen Geoobjekte abhängt. Schließlich sind auch physiognomische Unregelmäßigkeiten an Berghängen oder auf Feldern nicht vorhersehbar. Je feiner die betroffenen Strukturen, desto problematischer ist ihre Rekonstruktion. Bei Wolkenbildung über einem Siedlungsgebiet würde der Informationsgehalt der Aufnahme gar rasant sinken.

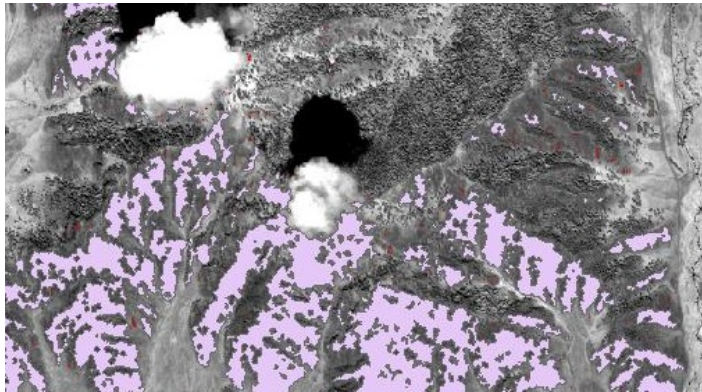


Abbildung 7: klassifizierte Felshänge (violett) und Wolken inklusive Wolkenschatten in ERDAS Imagine

Im Gegensatz zu den IKONOS-Bildern dienen die Topographischen Kartenblätter hauptsächlich der allgemeinen Orientierung. Sie geben einen Überblick über die Oberflächenbedeckung und das Relief. Durch Aufnahme- und kartographische Generalisierung verfügen die Blätter weder über die geometrische Genauigkeit noch über einen befriedigenden Detaillierungsgrad für eine umfassende Digitalisierung. Ihr Nutzen für die grobe Zuordnung von Bodenbedeckungsklassen in den von Wolken bedeckten Regionen steht jedoch außer Frage. Amtliche topographische Karten größerer Maßstäbe sind in Russland nicht öffentlich zugänglich und können daher nicht als zukünftige Datenquellen in Betracht gezogen werden.

Ähnlich verhält es sich mit den Online-Kartendiensten. Während BingMaps als Orientierungshilfe Anwendung findet, erweist sich vor allem die GoogleStreetView-Komponente bei der Klassifizierung als nützlich. Insbesondere Objekteigenschaften wie Straßenbelag, Dach-

form oder Pflanzenart sind anhand dieser Aufnahmen gut zu erkennen. Satellitenaufnahmen mit einer hohen geometrischen Auflösung, wie sie für westeuropäische Siedlungsgebiete existieren, liegen für die Republik Altai jedoch nicht vor.

Ein großer Vorteil für die Bearbeitung des Karakol-Modells ist das Altai-GIS der Technischen Universität Dresden. Die dabei verwendeten Strukturen des Geoinformationssystems wurden unter anderem für die nachfolgenden Altai-Modelle von Burckhardt (2011) und Schmid (2011) genutzt und dienen auch in dieser Arbeit als Grundlage. Objektklassen und Class-Codes werden bei allen Projekten einheitlich verwendet bzw. mit neuen Informationen angereichert.

Das Digitale Geländemodell von Schmid (2011), welches ursprünglich aus dem Altai-GIS abgeleitet wurde, wird in den folgenden Arbeitsschritten direkt integriert und soll unter anderem als Basis für das Triangulated Irregular Network (TIN) fungieren. Die umfassenden Geländedaten sind für die Modellierung der Region um Karakol und Kurata, aber auch für zukünftige Folgemodelle für den Ethno-Park Uch-Enmek, von großer Bedeutung.

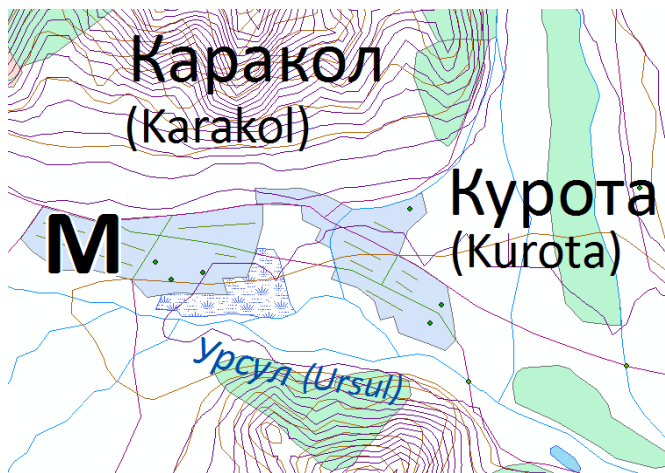


Abbildung 8: die Siedlungsgebiete Karakol und Kurata im Altai-GIS 100, dargestellt in ArcMap

Ohne ein bereits existierendes DGM würde sich der Arbeitsaufwand für ein GIS- oder 3D-Modell deutlich erhöhen, da es jeweils neu generiert werden müsste um eine wirklichkeitsnahe Reliefoberfläche konstruieren zu können. Dass die Vektordaten für die einzelnen Geoobjekte im Altai-GIS aufgrund ihres Aufnahmemaßstabes von 1:100 000 keine befriedigende geometrische Basis für das Karakol-Modell darstellen können, ist offensichtlich. Auf den Aspekt der Generalisierung wurde bereits in 3.3 eingegangen.

Die verfügbaren Luftbilder des belgischen Archäologen-Teams zeigen, wie in 3.2 erwähnt, fast ausschließlich Kulturgut der Skythen und geben keinen Aufschluss über die unterschiedliche Oberflächenbedeckung der einzelnen Höhenlagen. Da sie zudem weder den Ort Karakol noch Grundstücke in direkter Nachbarschaft zeigen, können sie ungeachtet ihrer räumlichen Auflösung verworfen werden. Bei der Erstellung eines GIS-Modells für bei der Befliegung berücksichtigte Areale des Tals würden sie hingegen eine geeignete Datenquelle für die Klassifikation repräsentieren.

6 Erstellung eines GIS-Modells für Karakol und Umgebung

Nachdem die einzelnen Primärdaten bezüglich ihrer Nützlichkeit analysiert wurden und die notwendigen Informationen extrahiert werden konnten, folgt anschließend der Aufbau des GIS-Modells mithilfe der Komponente ArcMap von ESRI ArcGIS 10.1. Teilweise war es möglich Rasterdatensätze aus den hochauflösenden Satellitenbildern zu gewinnen. Diese können im Rahmen des Digitalisierungsprozesses direkt eingebunden und gemäß ihrer späteren Verarbeitung optimiert werden.

Wie mit Herr Dr. Nikolas Prechtel abgesprochen, wird das hier aufzubauende GIS-Modell von Karakol und Kurata in die Datei, welche das Tuekta-GIS enthält, eingefügt. Dadurch kann Strukturungleichheiten vorgebeugt werden.

6.1 Digitalisierung

Das Ziel des nachfolgenden Bearbeitungsabschnittes ist es, eine konsistente Geodatenbank aufzubauen, welche die unterschiedlichen Feature-Datasets inklusive der einzelnen Objektklassen gemäß Tabelle 5 enthält.

6.1.1 Gewässer

Für die Digitalisierung der Gewässer wird das binäre Raster aus ERDAS Imagine importiert und nach dem von Schmid (2011) angewandten Prinzip bearbeitet. Zunächst werden die Ecken mithilfe eines 3x3 Majority-Filterkernels geglättet. Der sich anschließende Arbeitsschritt beinhaltet die Konvertierung des Rasters in Polygone. Da nur die mit dem Wert „1“ versehene Objekte von Bedeutung sind, werden diese durch die Funktion „Select by Attributes“ ausgewählt. Bei der Betrachtung des vorliegenden Shapefiles fallen zahlreiche Polygonlöcher auf. Um das Erscheinungsbild zu optimieren, werden alle Löcher mit einer maximalen Größe von 20 Quadratmetern (m²) geschlossen und Polygone, welche einen Abstand von höchstens 35m zueinander haben, aggregiert.

Kleinere Ungenauigkeiten im dargestellten Flussverlauf können an dieser Stelle manuell ausgebessert werden. Nach dem Abgleichen der Satellitenbilder werden Stützpunkte gelöscht oder hinzugefügt. Berücksichtigt werden hierbei der Fluss Ursul sowie die beiden kleineren Nebenflüsse Karakol und Kurata. Kleinere, nicht ganzjährig wasserführende Bäche werden mit Rücksicht auf den Modellumfang und die Dateigröße außer Acht gelassen. Nachdem die einzelnen digitalisierten Abschnitte mittels der „Dissolve“-Funktion zu einem einzigen Polygon zusammengefasst wurden, folgt eine erneute Glättung, um den kantig und

unnatürlich wirkenden Gewässerverlauf zu korrigieren. Damit dem resultierenden Objekt seine ursprünglichen Stützpunkte erhalten bleiben, wird auf die Bezier-Interpolation zurückgegriffen, bei welcher nur der Kantenverlauf zwischen den Knoten verändert wird. Durch das Hinzufügen des zugehörigen ClassCodes wird die Digitalisierung der Gewässerkörper abgeschlossen.



Abbildung 9: digitalisierter Gewässerverlauf südöstlich der Siedlung Kurata

6.1.2 Vegetation

Ähnlich sieht das Verfahren für die klassifizierten Waldgebiete aus. Das Raster wird durch den „Majority-Filter“ und zusätzlich durch die „Boundary-Clean“ Funktion geglättet. Es schließen sich erneut die Umwandlung in Polygone, das Extrahieren dieser und das manuelle Korrigieren der Flächen an.

Die Vermutung, dass Teile des Waldes an den Hängen im Norden und im Süden des Tales wolkenbedingt nicht erfasst wurden, bestätigt sich beim Vergleich der IKONOS-Aufnahmen mit den bei BingMaps vorhandenen Bildern sowie einem Blick auf die Topographischen Karten der Umgebung. Letztere dienen an dieser Stelle als Orientierungshilfe für die Kartierung der Baumbestände in den von Wolken bedeckten Arealen. Wie in Kapitel 4.1 bereits sichergestellt wurde, können die Karten ohne Bedenken eingebunden werden und für diesen Zweck als geometrische Grundlage verwendet werden. Für ein wirklichkeitsnahes Abbild werden die Aggregationsparameter den Walddimensionen angepasst und Polygone mit einem maximalen Abstand von 30m zueinander zusammengefasst bzw. Polygonlöcher mit einer Größe von bis zu 4000m² geschlossen.

Nach demselben Muster werden die Klassifikationsergebnisse für den felsigen Untergrund und die steinigen Wiesen bearbeitet. Im Fall der Klasse Rocky slope ist dabei zu erwähnen, dass ebenfalls Topographische Kartendaten herangezogen werden müssen, um das Bearbeitungsgebiet in seinem vollem Umfang bearbeiten zu können. Der einzige Unterschied zur Digitalisierung der Wälder besteht darin, dass abermals die für das Zusammenführen der Polygone zu Grunde liegenden Werte angepasst werden müssen. Da es sich bei Fels- bzw. Steininformationen um feinere Landschaftsstrukturen handelt, werden für beide Klassen ein Distanzmaximum von 20m als auch eine Höchstgrenze für Polygonlöcher bei 2000m² angewendet und überdies Polygone mit einer geringeren Fläche als 1000m² gelöscht.

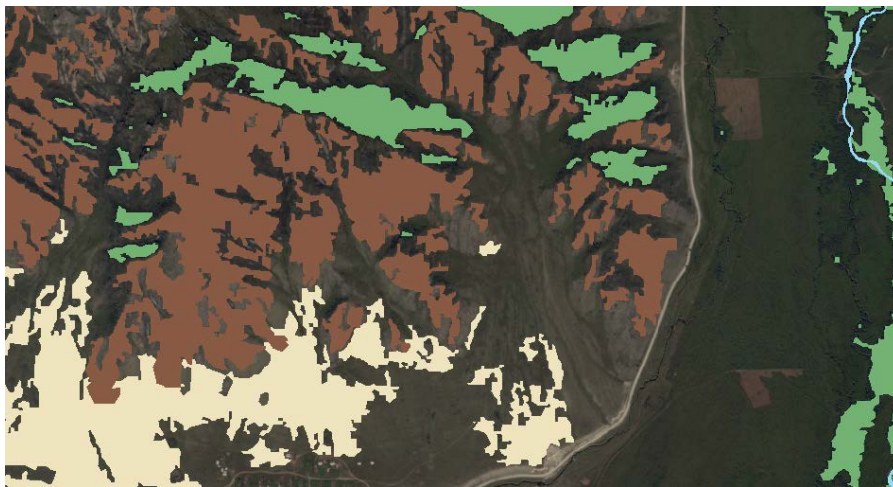


Abbildung 10: digitalisierte Felshänge (braun), steiniges Terrain (beige) und Waldgebiete (grün) nördlich der Siedlung Karakol

Die Attributtabellen werden in allen drei Fällen gemäß dem Klassifikationsschlüssel um das Attribut ClassCode erweitert und jedem Polygon sein spezifischer Wert zugeordnet.

6.1.3 Verkehrswege

Das in 4.2 erstellte IHS-Bild der IKONOS-Aufnahme ist die Basis für die manuelle Digitalisierung der Verkehrswege. Für diese Objektklassen konnte kein Rasterdatensatz aus den Satellitenbildern gewonnen werden, daher erfolgt der Erfassungsprozess per Hand nach der Vorgehensweise von Burckhardt (2011). Die sich gut voneinander unterscheidenden Straßen und Wege können als Polylines der Klasse roads hinzugefügt und entsprechend ihrer Beschaffenheit und ihrer Breite dem jeweiligen Verkehrswegetyp zugeordnet werden. Die Identifizierung und die Vergabe der ClassCodes erfolgt nach genauer Betrachtung des Pansharpning-Bildes sowie der GoogleStreetView-Aufnahmen.

In Vorbereitung auf die spätere Transformation der Landschaft in den dreidimensionalen Raum wird das Straßen- und Wegenetz um das Attribut Straßenbreite (Roadwidth) ergänzt. Die Zuweisung dieser Breitenangaben erfolgt über VBA-Skript-Codes. Abgesehen vom Objekttyp Bridleway (Reitweg) sind die verwendeten Werte aus Tabelle 6 identisch mit den von Burckhardt festgelegten Angaben.

Objekttyp	ClassCode	Breite
Arterial road	62120	6,0m
Communal road (>3,5m wide)	62230	6,0m
Communal road ($\leq 3,5$ m wide)	62240	3,5m
Unimproved road	62300	3,5m
Bridleway	62340	1,8m

Tabelle 6: Straßenbreiten für die Feature-Class roads nach Burckhardt (2011)

Polylines können allerdings im späteren Verlauf nicht in das dreidimensionale Modell übertragen werden. Aus diesem Grund wird die Klasse um jeweils den halben Attributwert für die Straßenbreite zu beiden Seiten gepuffert. Sind alle Objekte erzeugt, werden die Abschnitte gleicher Art mittels „Dissolve“ jeweils zu einem gemeinsamen Polygon aggregiert und ergeben schlussendlich das gewünschte Shapefile mit Straßen-Polygonen.

6.1.4 Siedlungen und Landnutzung

Zu den komplexeren Landschaftsstrukturen gehören zweifelsfrei die Siedlungsareale. Um die Grundstücke zu erfassen, wird eine Polyline-Klasse für die Grundstücksgrenzen angelegt. Je nachdem ob die jeweilige Grenze durch einen Zaun repräsentiert wird oder keine Umzäunung vorhanden ist, muss das Objekt dem Subtyp fence (Zaun) bzw. no fence (kein Zaun) zugeordnet werden (vgl. Burckhardt, 2011).

Es muss angemerkt werden, dass eine zweifelsfreie Identifizierung zugegebenermaßen nicht für alle Grundstücke möglich ist, trotz der hochauflösenden Satellitenaufnahmen. An einigen Stellen sind Grundstücksteile durch zum Beispiel Schatten verdeckt oder durch Mischpixel unkenntlich dargestellt. Sind alle Grundstücke im Bearbeitungsgebiet erfasst, folgt die Umwandlung der Features in Polygone. Die daraus resultierenden Flächen werden daraufhin als Bauland oder Gartenfläche, welche auch landwirtschaftlichen Nutzen haben kann, determiniert.



Abbildung 11: vollständig digitalisierte Grundstücke in Karakol

Wie schon in Kapitel 4.3 beschrieben, soll die restliche Oberfläche des Modellgebietes als Grünland definiert werden. Sind die beiden Grundstücksklassen aus dieser Fläche herausgeschnitten, werden alle drei zur gemeinsamen Objektklasse Landuse (Landnutzung) zusammengefasst.

Analog zu den Grundstücken werden die einzelnen Häuser erfasst und mit dem entsprechenden ClassCode verknüpft. Die Kategorien wurden von Burckhardt (2011) festgelegt und basieren auf der Dachform, der Traufhöhe, der Dachneigung sowie der Art der Fassade. Bedingt durch die geometrische Auflösung des IHS-Bildes sind vor allem Nebengebäude oder Schuppen nur schwer erkennbar. Um eine falsche Zuordnung der Gebäude-Stile weitestgehend zu vermeiden, können jene Satellitenansichten der Häuser als Referenzen genutzt werden, welche mittels der GoogleStreetView Daten eindeutig charakterisierbar sind. Damit später eine dreidimensionale Modellierung der Gebäude möglich ist, muss ihnen an dieser Stelle die Basis- und die Traufhöhe zugewiesen werden. Die Gebäudemittelpunkte werden extrahiert und durch „Extract Values To Point“ mit den entsprechenden Höhen aus dem Digitalen Geländemodell versehen. Durch einen „Spatial Join“ lassen sich diese Werte wiederum dem dazugehörigen Gebäudepolygon als Basishöhe hinzufügen (vgl. Burckhardt, 2011). Die Werte für die Traufhöhe werden aus der Arbeit von Schmid (2011) übernommen. Für die dabei nicht berücksichtigte Klasse mit dem ClassCode 44400 wird ein Wert von 2,0 Metern festgelegt.

6.1.5 Archäologische Elemente

Da keine Geodatenätze für Hügelgräber und Felszeichnungen zur Verfügung stehen, werden Erstere dem GIS-Modell manuell hinzugefügt. Mittels des Pansharpening-Bildes lässt

sich die Lage der teilweise von Steinkreisen umgebenen, kreisförmig angelegten Grabhügel, welche auch als Kurgane bezeichnet werden (vgl. Jettmar, 1961), gut bestimmen. Felszeichnungen im Raum Karakol bleiben hingegen unberücksichtigt, da eine Identifizierung durch Satelliten- oder Luftbildaufnahmen nicht möglich ist.

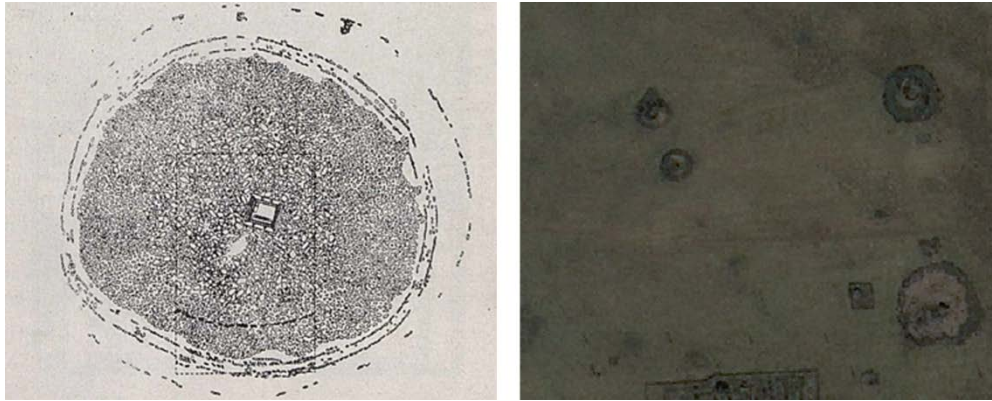


Abbildung 12: Plan eines Tuekta-Kurgans aus Jettmar (1961) (links) und Kurgane nahe Karakol auf dem Pansharpening-Bild (rechts)

6.2 Topologieprüfung

Wie Burckhardt (2011) in seiner Studienarbeit zur Siedlungsmodellierung im Uch-Enmek Park erläutert, ist ein konsistenter Datensatz unabdinglich für den Aufbau eines GIS-Modells. Um Überlappungen, unbeabsichtigte Polygonlücken oder Freiflächen zu vermeiden, muss an dieser Stelle eine genaue Überprüfung aller Objekte und ihrer relativen Lage erfolgen. Die hierfür notwendigen Bearbeitungsschritte richten sich abermals nach dem von Manuel Burckhardt konzipierten Verfahren für das Tuekta-Modell.

Die erwähnten Überschneidungen werden unter Verwendung der „Erase“-Funktion von ArcGIS korrigiert. Beginnend mit den Gewässern und Verkehrswegen, müssen diese aus den Shapefiles der Vegetation und Felsen als auch aus denen der Landnutzung herausgeschnitten werden. Daraufgehend werden Überlappungen zwischen den einzelnen Bodenbedeckungsklassen eliminiert und deren Lage auf Schnitte mit Grundstücksarealen kontrolliert. Die Konsistenz innerhalb der Grundstücke ist durch deren Digitalisierung in 6.1.4 bereits sichergestellt. Ferner muss darauf geachtet werden, dass die Straßenpolygone bei Flussüberquerungen entfernt werden. Dies ist Voraussetzung für eine korrekte Darstellung der Brücken im 3D-Landschaftsmodell.

Unmittelbar danach muss das Verkehrswegenetz untereinander abgestimmt werden. Zunächst werden mittels „Select“ separate Klassen für die einzelnen Hierarchiestufen gebildet. Um ein konsistentes Netzwerk zu erhalten, werden an Kreuzungen jeweils die Polygone der Straße der niedrigeren Klasse beschnitten. Hierfür bietet sich wieder die „Erase“-Funktion an. Aus ersichtlichen Gründen ist es zwingend erforderlich, dass alle Kreuzungen durch gemeinsame Endknoten der aufeinandertreffenden Wege entstanden sind. Ist dies nicht der Fall, ist eine Bearbeitung der betroffenen Stützpunkte erforderlich. Nach erfolgreicher Prüfung der Topologie können die Klassen durch „Merge“ wieder zu einer gemeinsamen Klasse zusammengefasst werden.

Da die Linienverläufe der Grundstücksgrenzen nicht weiter benötigt werden, wird durch „Select“ eine neue Klasse geschaffen, in welcher alle Objekte tatsächlich einen Zaun darstellen. Die als „no fence“ klassifizierten Polylines werden verworfen.

Durch die Generierung eines Union-Layers, einer Fusion aller vorhandenen Shapefiles, kann sichergestellt werden, dass nach diesem Bearbeitungsschritt keinerlei Überschneidungen mehr vorhanden sind (vgl. Prechtel, 2015). Existiert für jedes Objekt maximal eine FID mit einem Wert ≥ 0 , ist die Bearbeitung des GIS-Modells für den zweidimensionalen Bereich beendet. Das Gelände ist vollständig digitalisiert und kann im weiteren Verlauf dieser Arbeit auf die Überführung in den dreidimensionalen Raum vorbereitet werden.

7 Erstellen eines TIN auf Basis eines Digitalen Geländemodells

Gegenstand vergangener Projektarbeiten im Zusammenhang mit dem Ethno-Naturpark Uch-Enmek war die Erstellung bzw. Verbesserung eines Digitalen Geländemodells (DGM). Aus dem bereits in Kapitel 3.3 beschriebenen Modell soll an dieser Stelle ein Triangulated Irregular Network (kurz TIN) aufgebaut werden. Dieses hat den Vorteil, dass die Stützpunkte je nach Beschaffenheit des Geländes unregelmäßig angeordnet und Regionen mit hoher Reliefenergie detailgetreu visualisiert werden können (vgl. Ervin & Hasbrouck, 2001). Dadurch, dass die Höhen der Stützpunkte nicht interpoliert werden, verfügt das spätere 3D-Modell über ein realistischeres Erscheinungsbild.

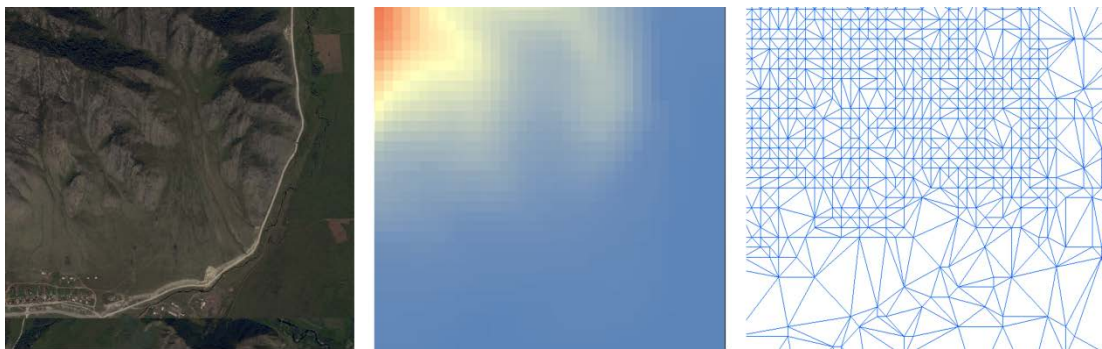


Abbildung 13: Vergleich zwischen IKONOS Pansharpning-Bild, DGM und TIN (von links nach rechts)

Die Umsetzung erfolgt weiterhin mithilfe der ArcGIS-Komponente ArcMap. Hierbei wird zunächst das existierende DGM für die Altai-Region geladen und auf das Bearbeitungsgebiet zugeschnitten. Somit wird eine verlangsamte Performance für das weitere Editieren vermieden. Um ein Resultat von ausreichender Qualität zu erhalten, ist es wichtig die Z-Toleranz, sprich die maximale Differenz zwischen DGM- und TIN-Höhe, gleich eins zu setzen. Außerdem wird auf eine Multiplikation der Höhenwerte (Z-Faktor 1) sowie auf eine Obergrenze für zu übertragende Punkte verzichtet.

7.1 Berücksichtigung von Bruchkanten

Das entstandene TIN zeigt die auf den Geländedaten basierende Erdoberfläche. Diese weist jedoch signifikante Unregelmäßigkeiten auf, welche bei der Berechnung nicht ohne weiteres berücksichtigt werden. Dazu zählen unter anderem sich in die Landschaft einschneidende Flussläufe. Aber auch anthropogene Strukturen wie Straßen oder Siedlungsflächen beeinflussen die tatsächliche Oberflächengestalt des Geländes. Schließlich besitzen sie in der

Regel einen horizontal ebenen Querschnitt, unabhängig von der eigentlichen Hangneigung. Um zu gewährleisten, dass diese Objekte entsprechend visualisiert werden können, muss das TIN für einige Areale weiter bearbeitet werden. Es wird hierdurch sichergestellt, dass keinerlei Polygongrenzen durch Brüche in der Oberfläche verändert werden.

Als erstes werden für die Polylines der Straßenverläufe Stützpunkte im Abstand von zehn Metern festgelegt. Durch diese „Interpolate Shape“-Funktion wird ebenso die Zuweisung der entsprechenden TIN-Höhen für alle Punkte realisiert. Anschließend führt ein von Dr. Nikolas Prechtel programmiertes Tool eine Glättung der Höhenwerte durch. Als günstig erweist sich dafür eine Gewichtung von 50% für den Mittelpunkt und 16,6% bzw. 8,3% für den jeweils ersten und zweiten Nachbar. Damit sind die Straßenmitten vollständig editiert.

Mit demselben Werkzeug werden im nächsten Schritt die Thiessen-Polygone für die 3D-Straßenshapes errechnet. Im Vorfeld der Voronoi-Zerlegung muss ein Rahmen-Polygon um das Bearbeitungsgebiet gezogen werden, welches als Begrenzung für diese Kalkulation dient. Das Voronoi-Shapefile kann dann in ein Raster mit einer Zellweite von fünf Metern konvertiert werden. Um die Höhenwerte für die Straßenkonturen zu gewinnen, werden aus den in 6.1.3 geschaffenen Straßenpolygonen die Randlinien mit der Toolbox-Funktion „Polygon To Line“ extrahiert. Für eine äquivalente Struktur der Straßenmitte und der Konturen wird auf den 2D-Randlinien mittels „Densify“ erneut aller fünf Meter ein Stützpunkt addiert. Nach der Zuweisung der Höhenwerte aus dem Voronoi-Shape ist die Bearbeitung für die Straßenkonturen ebenfalls abgeschlossen.

Das Projekt beinhaltet somit die Shapefiles road_centr3d (Mittellinien mit Höhenwert) und road_cont3d (Konturen mit Höhenwert).

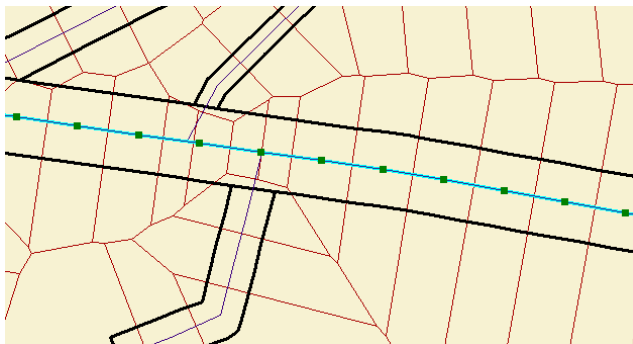


Abbildung 14: Straßenmitte (türkis) mit Stützpunkten (grün), Straßenränder (schwarz) und Thiessen-Polygone (rot)

Nach einem ähnlichen Prinzip wird mit den digitalisierten Flussläufen verfahren. Im Gegensatz zu den Straßen müssen für die Anpassung der Flusspolygone ein paar Editierschritte ergänzt werden. So ist es notwendig, zu Beginn alle Flüsse zu separieren. Durch Schnitte an den jeweiligen Mündungen ergibt sich für jeden Wasserlauf ein eigenes Polygon. Durchgängig geschlossene, nicht verzweigte Polygone sind Voraussetzung für die Anwendung eines neu von Dr. Nikolas Prechtel entwickelten Tools, mit welchem Mittellinien für vorhandene Polygone gebildet werden können. Nachdem in einem neuen Shapefile ein Anfangs- und ein Endpunkt am jeweiligen Ende des Flusskörpers eingefügt werden, berechnet dieses Werkzeug abschnittsweise die Mittelwerte und gibt als Resultat eine durchgängige Polyline aus.

Im Folgenden schließen sich Operationen analog zur Straßenanpassung an. Der Mittellinie werden Höhenwerte zugeordnet und Stützpunkte mit einer „Sampling Distance“ von zehn Metern eingefügt. Nach der Voronoi-Zerlegung folgen das Addieren von Randpunkten und die Verschneidung beider Produkte zu einem Shapefile mit kotierten Konturlinien. Die entstanden Dateien `river_centr3d` (Mittellinien mit Höhenwert) und `river_cont3d` (Konturen mit Höhenwert) sind folglich bereit für die Integration in das Triangulated Irregular Network.

Das Einbeziehen der Stützpunkte steigert den Wiedererkennungswert von Strukturen im dreidimensionalen Modell. Das Ermöglichen von komplexen Raumvorstellungen beim Betrachter ist der Grund dafür, dass 3D-Visualisierungen in der Regel attraktiver wahrgenommen werden als konventionelle Karten (vgl. Oster, 2007). Wie Schmid (2011) bereits feststellte, müssen für die als Bruchkanten fungierenden Fluss- und Straßenkonturen alle TIN-Knotenpunkte (englisch: TIN-Nodes) in deren näheren Umfeld gelöscht werden. Dadurch verhindert der Bearbeiter das Auftreten unnatürlich aussehender Gebilde, welche entstehen, wenn auf einer relativ kurzen Strecke zwischen TIN-Stützpunkt und Bruchkante (auch: Breakline) große Höhenunterschiede überwunden werden müssen. Realisiert wird diese Aktion durch simple Polygonmasken, in deren Gebiet alle Nodes entfernt werden.

Sinnvoll ist zuvor eine Transformation des TIN in ein Point-Shape („TIN Node“). Als Pufferdistanz eignet sich im vorliegenden GIS-Modell ein Abstand von zehn Metern zum Ursprungspolygon der Flüsse bzw. Straßen.

Über die Funktion „Create TIN“ werden sowohl die editierten TIN-Nodes als auch die Straßen- und Flussverläufe entsprechend eingebunden und bringen ein neues, projektspezifisches TIN hervor.

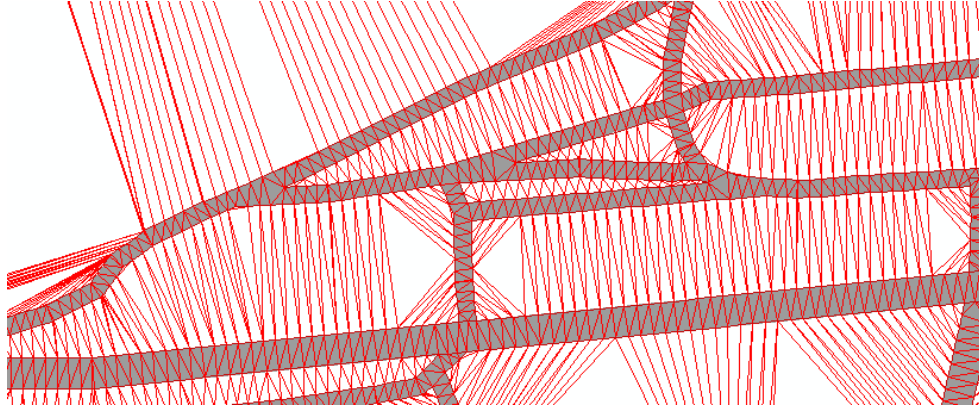


Abbildung 15: TIN nach Integration der Bruchkanten für Verkehrswege

Bei der ersten Betrachtung des Resultates in ArcScene fiel auf, dass vor allem im Bereich des mäandrierenden Ursul-Flusses unrealistische Geländeformen bei der Berechnung entstanden. Ein Grund hierfür könnte ein nicht ausreichend genaues DGM im Bereich der Berghänge sein. Da das Gelände fälschlicherweise spitze Erhebungen beinhaltet und diese maßgeblich den visuellen Eindruck beeinflussen, ist eine manuelle Bearbeitung erforderlich. Nach dem gezielten Löschen von TIN Stützpunkten und einer erneuten TIN-Kalkulation sind die störenden Erhebungen verschwunden.

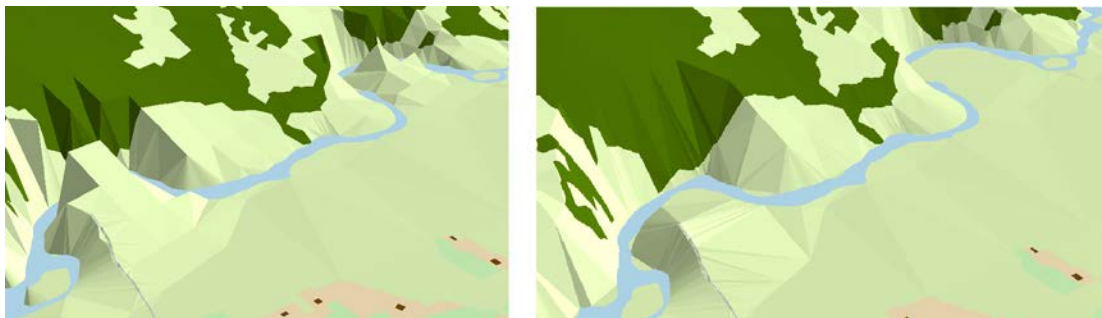


Abbildung 16: Flusslauf südlich von Kurata vor (links) und nach der manuellen Bearbeitung (rechts)

7.2 Integration der einzelnen Features in das TIN

Da die Grenzzäune in der 3D-Software nicht erkennbar sein werden, muss vor der Integration der Grundstückspolygone noch eine Ergänzung dieser vorgenommen werden. Die Vari-

ante von Schmid (2011), zusätzliche ClassCodes für die Klasse landuse einzuführen, stellte sich bereits bei der Visualisierung von Tuekta als geeignet heraus und wird aus diesem Grund übernommen. Die bisherigen Kodierungen in dieser Klasse werden um die Werte 77711 und 77712 (für Gartenflächen) bzw. 77721 und 77722 (für Bauland) ergänzt. Die Zuweisung erfolgt unter der Bedingung, dass zwei benachbarte Grundstücksflächen nie den gleichen Code besitzen. Die vollständigen Grundstücke bilden die neue Feature Class landuse_update.

Nachdem die Geländedaten ausreichend bearbeitet wurden, müssen die Objekte aller Klassen aus dem zweidimensionalen Raum dem Geländemodell hinzugefügt werden. Mittels der Funktion „Edit TIN“ wird das zuvor berechnete TIN als Basis definiert und um die einzelnen Objektklassen ergänzt. Bei diesem Additionsprozess ist es wichtig, die in Tabelle 7 aufgeführte Reihenfolge einzuhalten, da Polygone von Nachfolgenden jeweils überschrieben werden. Durch diese Konstellation bleiben Polygone erhalten und alle Objekte in gewünschter Form sichtbar.

Abfolge	Feature-Dataset	Feature Classes
1.	landcover	forest, rocky, stony, landuse_update
2.	hydro	river
3.	archaeo	archaeo
4.	roads	roads
5.	buildings	buildings

Tabelle 7: Abfolge der Integration der Objektklassen in das TIN nach Schmid (2011))

Bei der Transformation des GIS-Modells erfolgt die Zuweisung von Klassen durch sogenannte Tag-Values. Sie beschreiben den thematischen Inhalt der Dreiecke des Netzwerks. In der sich anschließenden Visualisierung mittels Cinema 4D geben sie Aufschluss über das äußere Erscheinungsbild der Geländeoberfläche bzw. über die Lage dreidimensionaler Objekte. Mit der Triangulationsvariante „Soft value fill“ werden die jeweiligen ClassCode-Werte als Tag-Values für alle Objektklassen übernommen. Durch eine geeignete Symbolik werden alle Klassen differenziert und anschaulich sichtbar. Es ist zu beachten, dass kein Farbton mehrfach vergeben wird, da die betroffenen Polygone sonst als ein Objekt zusammengefasst werden. Da für das TIN ein größerer Ausschnitt als bei der vorherigen Bearbeitung verwendet wurde, entsteht automatisch ein mit dem Face-Tag-Value „Null“ klassifiziertes Umgebungspolygon. Für einen anschaulicheren Modellrand ist es sinnvoll, dieses ebenso zu symbolisieren und zu transformieren.

Hiermit ist der Geodatenatz des GIS-Modells Karakol für eine Überführung in die 3D-Grafiksoftware Cinema 4D ausreichend editiert.

Das GIS umfasst in seiner Endfassung:

- die Feature-Datasets mit den jeweiligen Objektklassen (siehe Tabelle 5)
- die erweiterte Landnutzungs-kategorie
- die Klasse Surrounding (Umgebungs-Polygon)
- die Shapefiles für Bruchkanten an Straßen & Flüssen (Konturen mit Höhenwerten)
- das Digitale Geländemodell
- das daraus abgeleitete TIN
- sowie das TIN inklusive aller Features und Tag-Values.

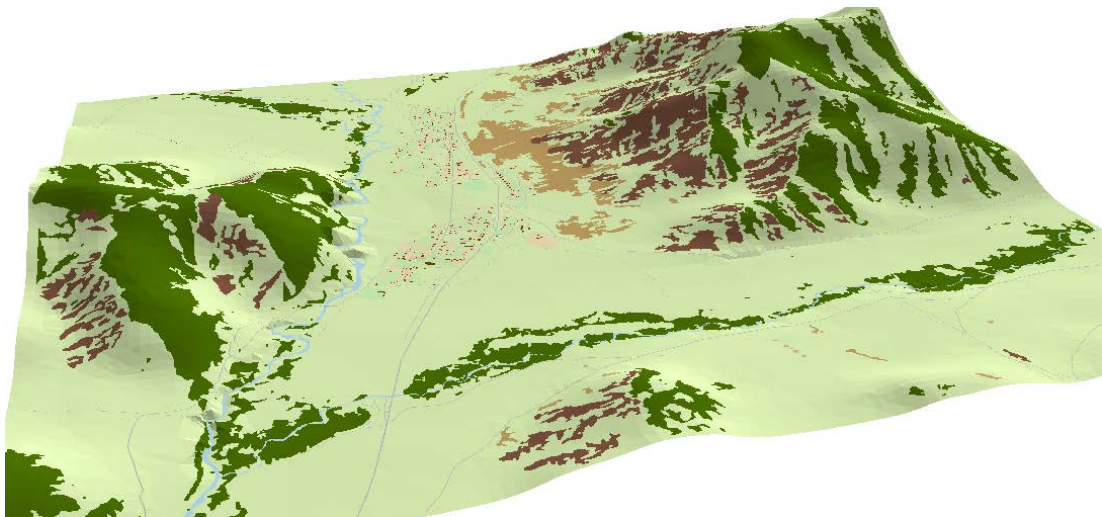


Abbildung 17: TIN mit symbolisierten Tag-Values, dargestellt in ArcScene

8 Quantifizierung des Erfassungsaufwandes für das GIS-Modell

Neben der eigentlichen Erstellung des GIS-Modells ist es ein weiteres Ziel dieser Arbeit, den Aufwand für diesen Prozess zeitlich zu definieren. Es versteht sich von selbst, dass in diesem Zusammenhang nicht auf übliche Berechnungen anhand von konkreten Messwerten zurückgegriffen werden kann. Vielmehr soll versucht werden, den Aufwand für einzelne Arbeitsschritte zu schätzen und daraus relative Werte für vergleichbare Workflows zu gewinnen.

Nach Bekanntgabe des genauen Ziels des GIS-Projektes besteht der erste Schritt darin, sich über das zu modellierende Gebiet zu informieren. Die geographische Lage, die auftretenden Reliefformen oder die charakteristischen Vegetationsmerkmale sind von Bedeutung. Nur durch das Heranziehen solcher Informationen erhält der Bearbeiter ein ausreichend genaues Bild und ist später in der Lage die Landschaftselemente dementsprechend zu visualisieren. Themenabhängig kann es zudem sinnvoll sein, geschichtliches Hintergrundwissen zu sammeln. Besteht zum Beispiel wie im vorliegenden Fall ein direkter Bezug zu antiken Grabstätten, ist es notwendig, Daten zu deren äußerem Erscheinungsbild zu sammeln. Im Allgemeinen nimmt dieser Teil der Vorbereitung einen vergleichsweise geringen zeitlichen Rahmen in Anspruch.

Intensiver fällt hingegen die Suche und Auswertung potentieller Datenquellen aus. Da das Angebot an Informationen in der Regel breit gefächert ist, sollte ausreichend Zeit in Anspruch genommen werden um jene Quellen heraus zu filtern, welche über eine befriedigende Qualität verfügen. Oft empfiehlt es sich zudem, mehrere Datenquellen für gleiche Inhalte zu verwenden. Somit können Unklarheiten oder Widersprüche früh erkannt bzw. beseitigt werden. Ein gutes Beispiel ist die Nutzung von Digitalen Geodaten und Papierkarten zur Beseitigung von Datenlücken bei wolkenreichen Satellitenaufnahmen. Hierbei zahlen sich auch bereits die Informationen zur Geographie aus, welche das Orientieren innerhalb der Satellitenaufnahmen deutlich vereinfachen.

Entscheidend für die Umsetzung des theoretischen Vorwissens in für das GIS Modell geeignete Geodaten ist die Digitale Bildverarbeitung bzw. die Anpassung der Primärquellen. Diese steigern den nutzbaren Informationsgehalt enorm. Wie in Kapitel 4.2 beschrieben, lassen sich zahlreiche, auf den ersten Blick nicht erkennbare, Informationen zu Gewässernetzen oder zur Bodenbedeckung extrahieren. Die Georeferenzierung ist ebenfalls unabdingbar, da sie die Digitalisierung vereinfacht. Für sie wird allerdings deutlich weniger Zeit

benötigt. Generell kann der Aufwand der Datenverarbeitung nur schwer quantifiziert werden. Er hängt im Gegensatz zur Quellensuche nicht davon ab, ob bereits GIS-Modelle in derselben Region (Beispiel: Tuekta und Karakol) existieren. Zwar ist es in so einem Fall möglich, dieselben Satellitenbilder oder Kartenblätter zu verwenden, sowohl die Georeferenzierung als auch die Bildverarbeitung müssen jedoch in jedem Fall individuell durchgeführt werden.

Die in Kapitel 4.3 durchgeführte Typisierung der vorhandenen Geoobjekte ist die strukturelle Grundlage eines jeden GIS-Modells. Dabei gilt es, sinnvolle Hierarchien zu erstellen, welche bis zur Endfassung als Basis für die Datenbearbeitung fungieren sollen. Liegt wie hier bereits ein projektverwandtes GIS vor, können und sollten diese Leitlinien übernommen werden. Der Zwischenschritt mit dem höchsten Konfliktpotential ist die Gewinnung von Rasterdaten aus den Satellitenbildern. Um zufriedenstellende Klassifikationsergebnisse zu erhalten, muss der Bearbeiter Misserfolge und Fehlklassifikationen als Teil eines langwierigen Trial-and-Error-Prozesses in Kauf nehmen. Je nach Verfahren und Wissensstand des Bearbeiters schwanken die Zeiten für diesen Prozess. Definitiv von Vorteil sind abermals gute Grundkenntnisse zu Vegetationstypen, Relief und Siedlungsformen innerhalb des Bearbeitungsareals. Dadurch ist es leichter, Objekte auf Karten und Aufnahmen zu lokalisieren und voneinander zu unterscheiden.

Der Aufbau des Karakol-Modells in ArcGIS geht nach guter Vorbereitung schnell voran. Da die Datenstrukturen für Geodatenbank, Feature Data-Sets und Klassen aus dem Tuekta-Modell vorliegen, bot sich eine direkte Übertragung auf Karakol an. Die sich anschließende Digitalisierung der einzelnen Feature-Klassen ist stark von der Geländebeschaffenheit abhängig. Während die Digitalisierung der Vegetationsflächen und Gewässer überwiegend in ERDAS Imagine erfolgte und die Dateien nur noch in ArcGIS hoch geladen wurden, nahm derselbe Vorgang für manuell zu editierende Elemente wie Verkehrswege oder Siedlungsgebiete signifikant mehr Zeit in Anspruch. Für Objekte, welche nicht zufriedenstellend automatisiert erfasst werden können, müssen die Quellen genau studiert und ausgewertet werden. So können Fehler bei der Erfassung vermieden und der Detailgrad des Modells konstant gehalten werden. Insbesondere in Hinblick auf die 3D-Visualisierung sollte die Erfassungsgeneralisierung nicht zu intensiv erfolgen um eine realitätsnahe Darstellung zu gewährleisten.

Die Topologieprüfung und die TIN-Berechnung repräsentieren die letzten beiden Arbeitsschritte bis zur Fertigstellung des GIS-Modells. Wurde bei der Digitalisierung exakt gearbeitet, läuft die Prüfung der topologischen Eigenschaften unproblematisch und weniger zeintensiv ab. Selbiges gilt für den Aufbau eines konsistenten TIN.

Der Arbeitsablauf für die in Kapitel 7.1 beschriebene Integration der Bruchkanten konnte dank der Werkzeuge von Dr. Nikolas Prechtel beschleunigt werden. In der Regel läuft das Einbinden dieser Strukturen immer nach dem gleichen Prinzip ab und stellt kein größeres Hindernis dar. Diese Aussage trifft allerdings nur zu, insofern die benötigten Klassen und Geländemodelle im Vorfeld ausreichend editiert wurden und für die Bearbeitung mit den genannten Tools geeignet sind. Spätestens bei der Betrachtung als dreidimensionale Landschaft mittels der ArcScene-Komponente zeigen sich vorhandene Schwachstellen. Müssen Shapefiles nachträglich bearbeitet und das TIN dadurch neu generiert werden, verzögert sich die Fertigstellung des Modells dementsprechend.

Trotz der erwähnten Quantifizierungsproblematik wurde nachstehend versucht eine grobe Zeiteinteilung festzulegen. Grundlage ist die Bearbeitungszeit für das GIS-Modell Karakol, unabhängig von möglichen Komplikationen. Alle Angaben erfolgen in Stunden, wobei ein Bearbeitungstag mit acht Stunden Arbeitsaufwand gleichgesetzt werden kann.

Arbeitsschritt	geschätzter Zeitaufwand
Geographische Einordnung	7h
Quellensuche	16h
Datenverarbeitung der Primärquellen	24h
Typisierung und Klassifikation	24h
Vorbereitung / Theoretisches Wissen	71h
Aufbau GIS-Strukturen	0,5h
Digitalisierung	24h
Topologie-Prüfung	2h
TIN-Modell	4h
Arbeit in ArcGIS	30,5h
Gesamtaufwand	= 101,5h (circa 13 Tage)

Tabelle 8: Quantifizierung des Arbeitsaufwandes für das GIS-Modell

Es ist zu ergänzen, dass sich die Zeitangaben auf flächenmäßig vergleichbare Regionen mit ebenfalls geringer Siedlungsdichte beziehen.

Bei der Interaktion von Mensch und Technik sind Probleme und damit verbundenen Verzögerungen nie vollständig auszuschließen. Zusammenfassend lässt sich festhalten,

dass die folgenden Faktoren ausschlaggebend für den Arbeitsaufwand zur Erstellung eines GIS-Modells sind:

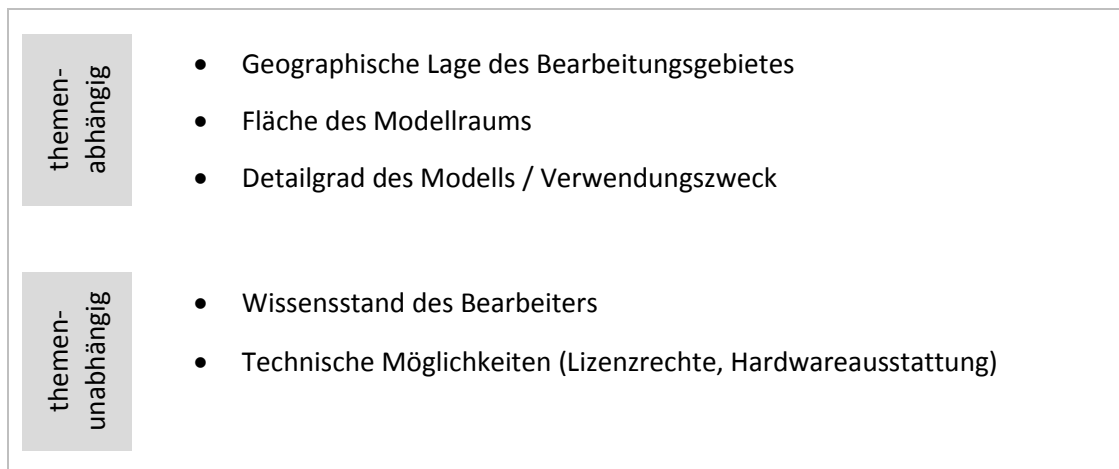


Abbildung 18: Einflussfaktoren für den Erfassungsaufwand eines GIS-Modells

9 Umwandlung des GIS-Modells in ein 3D-Landschaftsmodell

Bevor mit der Bearbeitung des Landschaftsmodells in Cinema 4D begonnen werden kann, muss die Lage des Modells im Koordinatensystem verändert werden. Wie Schmid (2011) in seiner Arbeit ausführlich beschreibt, greifen ArcGIS, das Übergangsformat VRML sowie Cinema 4D (C4D) auf jeweils unterschiedliche Koordinatensysteme zurück. Um eine präzise Bearbeitung und eine korrekte Ausrichtung der Objekte zu garantieren, werden im Folgenden die durch ihn aufgestellten Parametertransformationen durchgeführt. Der Modellierungsworkflow bis zum Endprodukt ist in seiner Gesamtheit, sofern nicht anders erwähnt, an jenen von Marcel Schmid dokumentierten Ablauf angelehnt.

9.1 Datenintegration in Cinema 4D

Der erste Schritt umfasst das Verschieben der Szene in ArcScene mithilfe eines Verschiebevektors. Für das bisher verwendete System 42/83 mit Pulkowo-Datum werden das False_Easting mit 78600m bzw. das False_Northing mit -5634700m neu definiert. Würde diese Translokation in Richtung des Koordinatenursprungs fehlen, hätten die sieben- bzw. achsstelligen Koordinatenwerte negative Auswirkungen auf Transformationen sowie auf die Handhabung der Kameraeinstellungen (vgl. Mach & Petschek, 2006).

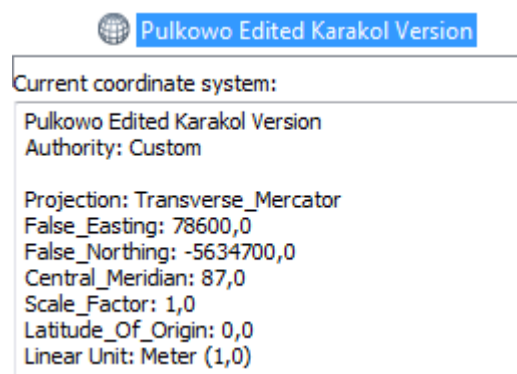


Abbildung 19: Parameter für das Koordinatensystem zur Überführung von ArcGIS in die VRML

Um das Karakol-Modell wie gewünscht zu erweitern, wird es als VRML-Datei gespeichert. Die Virtual Reality Modeling Language dient zur Beschreibung der dreidimensionalen Objekte inklusive deren Interaktionen (vgl. Dießner, 2013). Da die Projektion bereits bearbeitet wurde, muss die Option „Center in origin of coordinate system“ für den Export deaktiviert werden.

Damit kann das Projekt in die erwähnte 3D-Software geladen werden, wobei darauf geachtet werden muss, dass die Maßeinheit für den Import 1 Meter beträgt. Nach der sich direkt anschließenden Drehung aller Objekte um -90° um die y'' -Achse und dem Zurücksetzen derer Objektachsen auf 0° , ist auch der letzte notwendige Arbeitsschritt für die Integration abgehandelt.

9.2 3D-Modellierung der Geoobjekte

Zu diesem Zeitpunkt des Workflows befinden sich ein Kamera-Objekt, die einzelnen Polygon-Objekte mit den dazugehörigen Tags sowie eine Lichtquelle in der C4D-Datei. Die erwähnten Tags beinhalten objektspezifische Attribute und nehmen unter anderem Einfluss auf die Glättung (Phong-Tag) und das Material (Texture-Tag), welches auf ein Geoobjekt projiziert werden soll (Eckhardt, 2014). Es empfiehlt sich, zunächst alle Polygone zu gruppieren. Dafür dienen die Objektklassenstrukturen aus ArcMap als Orientierung. Sind alle Inhalte geordnet und das Modell in ein oder mehreren Kameraeinstellungen gut sichtbar, wird mit der individuellen Bearbeitung der einzelnen Landschaftselemente begonnen.

Das Aufbringen von Materialien (auch Texturen genannt) auf den Polygonflächen verringert dabei den Abstraktionsgrad und fördert die Autoplausibilität. Unabhängig davon ist es in einigen Bereichen notwendig, geometrische Veränderungen der Polygone durchzuführen oder zusätzliche 3D-Objekte in das Landschaftsmodell einzufügen. Bei dem Prozess der Modellierung ist im Interesse des Betrachters stets darauf zu achten, das richtige Mittel zwischen Übersichtlichkeit und Detailliertheitsgrad zu finden. (vgl. Mach & Petschek, 2006)

9.2.1 Gewässer

Um für eine anschaulichere Darstellung der Flussläufe zu sorgen, soll zunächst ein Flussbett modelliert werden. Dazu werden die Polygone des Flusslaufes sowie die der umliegenden Oberflächenbedeckung, das heißt Grasflächen- und Wald-Polygone, zu einem neuen, gemeinsamen Objekt verbunden. Um Lücken vorzubeugen, werden das neu erstellte Objekt optimiert und alle Flächen mit einem Abstand von weniger als einem Zentimeter zueinander verbunden. Daraufhin selektiert man die Flüsse und senkt diese um zwei Meter nach unten. Am besten eignet sich dafür die „Bevel“-Funktion mit einem inneren Offset von 2,0m und einem Extrusionswert von -2,0m. An einigen Stellen muss festgestellt werden, dass, trotz vorheriger Bearbeitung, einzelne Flächen des geschaffenen Flussbettes nicht dem Fluss selber, sondern der benachbarten Oberflächenform zugeordnet sind. Durch manuelles Selektieren im sogenannten „Live-Selection“-Modus müssen diese Bereiche nach-

träglich erfasst werden. Sind alle betroffenen Polygone selektiert, muss zusätzlich das restliche Flussbett markiert und daraus mithilfe der „Abtrennen“-Funktionen ein eigenständiges Objekt erstellt werden. Die für die Extrusion verwendete Polygon-Aggregation kann an dieser Stelle wieder entfernt werden.



Abbildung 20: vollständig modelliertes Flussbett

Da das Flussbett durch das darüber liegende Gewässer noch nicht sichtbar ist, muss anschließend der Fluss selber extrudiert werden. Realistisch erscheint dabei ein Parameterwert von -1,0m. Als Endergebnis erhält der Bearbeiter einen Gewässerkörper, der sich anschaulich seinen Weg durch die Landschaft bahnt. Um den visuellen Eindruck weiter zu verbessern, ist, wie bereits erwähnt, eine Materialzuweisung von Vorteil. In Cinema 4D wird jedem Objekt, wie Schmid (2011) näher erläutert, eine Oberflächentextur per Tag zugewiesen, welche nach verschiedenen Prinzipien darauf projiziert werden kann.

Für solche Texturen stehen zahlreiche Vorlagen und Anleitungen, sowohl online als auch in Printmedien, zur Verfügung. Für die Gewässer des Karakol-Modells wird auf ein Internet-Tutorial von XeNoN (2005) zurückgegriffen. Charakteristische Eigenschaften wie Reflexion, Refraktion oder Transparenz werden bei dieser Prozeduralen Textur berücksichtigt und verleihen dem Endprodukt ein zufriedenstellendes Äußeres. Diese Art der Texturen eignet sich besonders für solche dynamischen Objekte, da sie auf Rechenprozessen basiert und nicht, wie Bitmaps, aus Fotografien gewonnen wird (Ervin & Hasbrouck, 2001). Nach der Zuweisung dieses neu erstellten Materials sind die Flussläufe bereits vollständig modelliert.

Viele weitere Materialien befinden sich im Content Browser der Software. Er beinhaltet zahlreiche Vorlagen für Texturen oder auch fertige 3D-Objekte. Mithilfe einer Kieselstein-Textur, welche manuell nachträglich etwas verdunkelt wird, entsteht die Oberfläche

für das Flussbett. Sie wird, wie alle Flächenmaterialien, mittels der „Fläche-Mapping“-Methode projiziert.

9.2.2 Vegetation

Aufgrund ihres hohen Anteils an der Gesamtfläche des Landschaftsmodells ist die Modellierung der bewachsenen Gebiete ein wichtiger, aber gleichzeitig auch komplizierter Arbeitsschritt. Schließlich sind Bäume und Pflanzen, wie Ervin & Hasbrouck (2001) feststellten, oft die am besten zu erkennenden Strukturen einer Landschaft.

Als erstes wird wie in Kapitel 9.2.1 eine passende Textur für den Waldboden im Content Browser gewählt. Dazu eignet sich ein bräunlicher Untergrund mit leicht variierendem Rauschen („Noise“). Für die darauf wachsenden Bäume wird ebenfalls die Bibliothek von Cinema 4D genutzt. Da eine Volumendarstellung der Flora, bei welcher jeder Bestandteil des Baumes einzeln modelliert werden würde, das Datenvolumen rasant ansteigend ließe, werden ausschließlich Flächendarstellungen verwendet. Das bedeutet, dass zwei vertikale transparente Ebenen mit einem Abbild des Baumes auf Vorder- und Rückseite aufgestellt werden und die Zweite der Ebenen um 90° gedreht wird. (vgl. Ervin & Hasbrouck, 2001)

Diese sogenannten Billboards repräsentieren die in Relation zur Datengröße günstigste Darstellungsalternative für Vegetationsobjekte. Da für die Region Karakol eine Unterteilung in Laub- und Nadelwald, wie im Abschnitt 4.3 beschrieben, nicht möglich war, wird sowohl ein Laub- als auch ein Nadelbaum ausgesucht, in das Projekt hinein geladen und nach dem Prinzip der Billboard-Darstellung bearbeitet. Befinden sich die beiden Ebenen für den jeweiligen Baum in der richtigen Lage schließt sich die Gruppierung des Laub- und des Nadelbaums und die Zuordnung zu einem zuvor erstellten „Klon“-Objekt an.



Abbildung 21: orthogonal zueinander stehende Billboards für den Mischwald

Mithilfe solcher „Klon“-Objekte lassen sich Elemente auf ausgewählten Flächen platzieren und anordnen. Wie generell bei der 3D-Modellierung sollte auch hier bei dem Festlegen der Baumanzahl bedacht werden, dass zu hohe Werte die Performance stark beeinträchtigen können. Daher muss stets ein Kompromiss zwischen möglichst realitätsnaher Visualisierung und aufzubringendem Speicherplatz eingegangen werden. Diese Entscheidung steht zudem in engem Zusammenhang mit dem Verwendungszweck des Endproduktes. Für das hier vorliegende Modell ist ein Wert von 200.000 Bäumen (bei einem Startwert von 100.000) durchaus zufriedenstellend. Vorteilhafterweise lassen sich diese „Klon“-Objekte für die weitere Bearbeitung der Landschaft in Cinema 4D vorübergehend ausblenden, so dass die Performance dafür in keinsten Weise beeinträchtigt wird.



Abbildung 22: Baum-Billboards, welche als „Klon“-Objekt auf dem Wald-Polygon platziert wurden

Eine Modellierung von Grashalmen für die Wiesenflächen im Karakol-Tal steht aus den zuvor genannten Gründen nicht zur Diskussion. Da für eine annähernd anschauliche Darstellung eine nicht zu bewerkstellende Anzahl an Halmen notwendig wäre, wird dafür auf eine einfache Oberflächentextur zurückgegriffen. Zur Verfügung stehen dafür unterschiedliche Textur-Vorlagen von Texturemaat (2012). Diese wurden im Rahmen des Tuekta-Projektes erworben und beinhalten unter anderem ein großes Spektrum an Rasen- und Wiesenflächen. Sowohl für die Grasflächen als auch für das steinige Terrain lassen sich durch Probieren passende Materialien finden und zuordnen. Nachdem selben Prinzip ergibt sich eine Oberfläche für die Umgebung des Modells (Surrounding-Polygon).

Für das Gebirge bieten sich ebenfalls Vorlagen von Texturen an. Der Eindruck von spitzen hervorragenden Felsen lässt sich zwar dadurch nicht erzeugen, durch eine geeignete Farbgebung bietet sich dem Betrachter zumindest für kleinmaßstäbige Geländeansichten dennoch ein optisch ansprechendes Bild. Durch eine leichte Reflexion lässt sich das Glitzern der im Stein vorhandenen Minerale imitieren (vgl. Ervin & Hasbrouck, 2001).

9.2.3 Verkehrswege

Straßenoberflächen verschiedener Arten werden durch die Cinema 4D-Bibliothek im Content Browser bestens abgedeckt. Bei der Klassifikation in 4.3 erfolgte bereits eine Einteilung nach Beschaffenheit der Verkehrswege, so dass bei der dreidimensionalen Modellierung jedem Typ nur noch der entsprechende Asphalt, Kies oder Schlamm zugewiesen werden muss. Für die Feldwege hat sich herausgestellt, dass ein etwas dunkleres Gras-Material besser geeignet ist, als eine überwiegend bräunliche Boden-Textur. Ein fließender Übergang zwischen den einzelnen Belägen in den Kreuzungsbereichen oder auch am Straßenrand kann leider nicht ohne weiteres realisiert werden, soll jedoch auch nicht Bestandteil dieser Arbeit sein.

Im Abschnitt 6.2 ist darauf hingewiesen worden, dass Fluss überquerende Straßenabschnitte ebenfalls gelöscht werden, um an diesen Stellen Brücken zu platzieren. Dießner (2013) beschäftigte sich in seiner Bachelorarbeit mit der Modellierung von Grabkammern und Brücken. Die dabei entstandenen dreidimensionalen Objekte stehen für das Karakol-Modell zur Verfügung und werden an den entsprechenden Stellen platziert. Nachdem Import der 3D-Brücke wird diese an die Überquerung gezogen und mittels der Werkzeuge gedreht und skaliert. Hierbei muss darauf geachtet werden, dass sie an beiden Straßenenden korrekt abschließt und die Pfeiler im Wasser eintauchen. Ferner sollte die Fahrbahn im Querschnitt horizontal geebnet sein. Dieser Vorgang wird für alle vier Flussüberquerungen im zu bearbeitenden Geländeausschnitt äquivalent durchgeführt.

Damit die Brücken sich gut in das Landschaftsbild einpassen, werden ihnen für Außenkonstruktion und Fahrbahn jeweils Texturen aus dem Content Browser zugeordnet. Es bietet sich an, für die Oberfläche das gleiche Material zu verwenden, welches der den Fluss kreuzenden Straße bereits zugeordnet ist. Den Pfeilern und dem unteren Teil der Fahrbahn kann ein helles, gräuliches Äußeres verliehen werden.



Abbildung 23: importierte 3D-Brückenobjekte von Dießner (2013)

9.2.4 Siedlungen und Landnutzung

Für das dreidimensionale Landschaftsmodell von Tuekta wurden durch Burckhardt (2011) und Schmid (2011) Gebäudeprototypen in der LOD 2 – Stufe (Level of Detail 2) entworfen und im Siedlungsbereich entsprechend der Nutzungsklasse platziert. Der Prozess der Prototyp-Modellierung und der anschließenden Skalierung, Rotation und Zuweisung dieser Objekte ist im zeitlichen Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht zu bewerkstelligen. Aus diesem Grund wird sich die Gebäudemodellierung für Karakol und Kurata auf Bauklotz-Objekte entsprechend LOD 1-Niveau beschränken. Die zweidimensionalen Grundflächen der Siedlungselemente bleiben erhalten. Dadurch ist eine Nachbearbeitung der Siedlungsfläche unabhängig dieser Arbeit weiterhin möglich. Ebenso verhält es sich mit der Platzierung von Zäunen rund um die Grundstücke. Diese bleiben für dieses Modell ebenso unberücksichtigt.

Für den Zweck dieses Projektes soll es ausreichen, die Gebäudeflächen entsprechend ihrer in 6.1.4 zugeordneten Traufhöhe zu extrudieren. Zuvor sollten allerdings die Gebäude mit der Umgebung (Built-up area, Garden und Grassland) verbunden und optimiert werden, so wie es in 9.2.1 bei der Flussbettmodellierung gehandhabt wurde. Die fertigen Gebäudemodelle werden abgetrennt und als neues Polygonobjekt gespeichert. Die 2D-Gebäude bleiben dem Projekt erhalten, das zusammengefasste Polygon kann wieder verworfen werden.

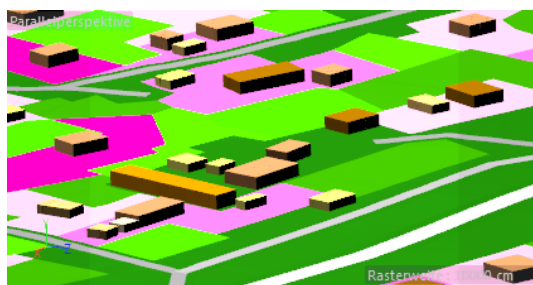


Abbildung 24: um die Traufhöhe extrudierte Gebäudeklötze

Wie bei anderen Polygonen wird auch den Häusern eine geeignete Textur gegeben. Für die überwiegend aus Holz gebauten Wohnhäuser und Ställe in Karakol und Kurata dient abermals die softwareeigene Bibliothek als Fundort adäquater Texturen. Im Gegensatz zu den bisherigen Flächenzuweisungen muss hier das Quader-Mapping als Projektionsverfahren eingestellt werden.

Die Garten- bzw. Landnutzungsfläche und die bebaute Fläche, welche die Hütten und Häuser umgeben, werden schematisch durch „Fläche-Mapping“ von Grasmaterialien unterschiedlicher Helligkeiten visualisiert. Für eine detailgetreue Wiedergabe der tatsächlichen Oberfläche wäre in beiden Fällen der Einsatz von zusätzlichen 3D-Objekten (Grashalme, Steine, Pfützen) nötig, welche aus den schon in 9.2.2 erläuterten Gründen nicht möglich ist.

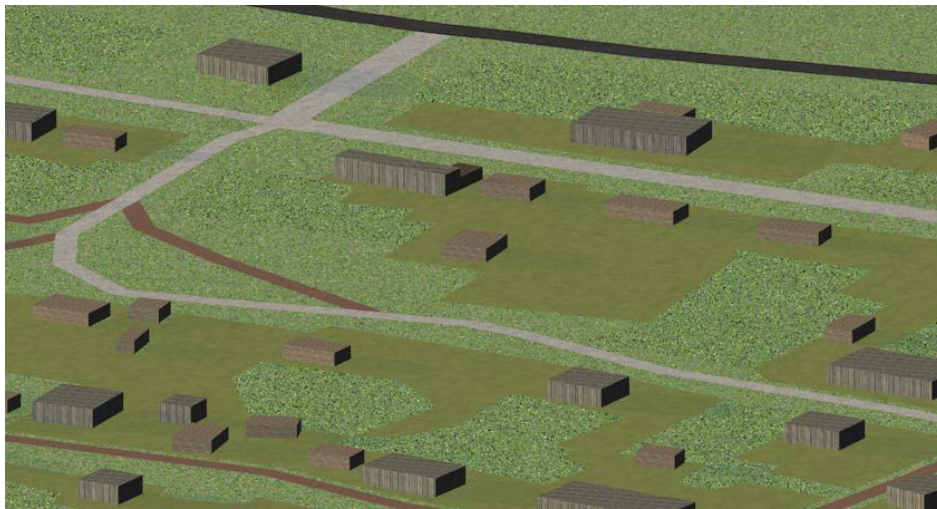


Abbildung 25: gerenderter Ausschnitt des Siedlungsareals in Karakol

9.2.5 Archäologische Elemente

Wie schon erwähnt, steht neben einem Brückenmodell ebenfalls das Modell einer dreidimensional modellierten skythischen Grabkammer von Dießner (2013) zur Verfügung. Anwendung soll sie bei zwei der größeren Hügelgräber finden. Zunächst müssen diese jedoch noch geringfügig editiert werden. Damit der Betrachter einen besseren Eindruck der leicht hügeligen Grabanlagen bekommt, werden die kreisförmigen Polygone gemäß des üblichen Extrusions-Vorganges zunächst mit der Umgebung verbunden und anschließend angehoben. Wie sich bei Schmid (2011) herausstellte, ist eine Höhe von 40 Zentimetern und ein innerer Offset von 1,40m optimal. In diese leicht aus der Erde herausragenden steinigen Gebilde kann anschließend die von Lars Dießner modellierte Kammer eingefügt werden. Die Grube ist auf den ersten Blick nicht sichtbar. Durch Anwendung des „Messer“-Werkzeuges

auf den zweidimensionalen Grund und die extrudierte dreidimensionale Grabfläche kann der Einstieg jedoch frei gelegt werden womit der Eingang zur Grabkammer zum Vorschein kommt. Durch eine kieselsteinartige Texturierung beider Elemente erhalten die archäologischen Fundorte ein visuell ansprechendes Äußeres und sind als letzter Bestandteil des Landschaftsmodells vollständig bearbeitet.



Abbildung 26: modelliertes Hügelgrab mit Grabkammer (links) und Kammer-Eingang (rechts)

9.3 Physikalischer Himmel

Um für die gesamte Szene realitätsnahe Beleuchtungsverhältnisse zu erhalten, wird der sogenannte Physikalische Himmel in Cinema 4D genutzt. Dieses Objekt kann nach Belieben individuell in seinen Parametern verändert werden und passt sich den eingestellten Jahreszeit-, Tageszeit- oder ortsabhängigen Bedingungen an. Für eine optimale Visualisierung eignet sich ein Sommertag vor Sonnenhöchststand (vgl. Schmid, 2011). Beispielsweise taugt der 21. Juni 2015 um 10.30 als Simulationszeit. Um eine ortsgetreue Beleuchtung zu gewährleisten, wird ein neuer Ortseintrag für Karakol mit den Koordinaten 50°48'53.3196" Nord, 85°56'35.142" Ost erstellt. Beim Rendering-Vorgang für das fertige Karakol-Landschaftsmodell wird der Einfluss des Himmelsobjektes durch die charakteristische Ausleuchtung und durch Schattenobjekte gut sichtbar.

10 Zusammenfassung

Das Endergebnis in Cinema 4D umfasst damit folgende Inhalte:

- Kamera-Objekt
- Physikalischer Himmel
- Licht-Objekt
- Hügelgräber (Archaeological sites) – in 2D und 3D
- Importierte Grabkammern (Chamber Tombs)
- Importierte Brücken (Bridges)
- Gebäudeklötze (Buildings) – in 2D und 3D
- Bodenbedeckung (Landcover)
- Baum-Klone (Tree Clones)
- Straßen (Roads)
- das Modell umgebende Grasfläche (Surrounding)

Je nach Belieben kann das Modell für verschiedene Kamerapositionen gerendert werden, wobei Rendering nach Ervin & Hasbrouck (2001) den Prozess der Gewinnung von zweidimensionalen Bildern aus dem 3D-Modell bezeichnet. Im Anhang B finden sich einige Beispiele für gerenderte Szenen der Orte Karakol und Kurata oder deren Umgebung.

Im Weiteren sollen Stärken und Schwächen des geschaffenen Landschaftsmodells von Karakol erläutert werden. Dabei wird rückbetrachtend eine Bewertung der angewandten bzw. zur Verfügung stehenden Werkzeuge, sowohl hersteller- als auch projektseitig geschaffen, vorgenommen. Verbesserungsvorschläge und mögliche Ansätze zur Erweiterung des Karakol-Modells finden sich am Ende der Zusammenfassung.

10.1 Kritische Betrachtung des Karakol-Modells

Der bisherige Projektraum konnte sowohl zwei- als auch dreidimensional erfolgreich in Richtung Osten erweitert werden. Im Laufe der Bearbeitung kristallisierten sich bereits einige Stärken und Schwächen des neu erstellen Karakol-Modells heraus.

Da bei der Primärdatenanalyse umfangreiche Informationen über das dargestellte Areal gewonnen werden konnten, basieren die visualisierten Objekte nahezu vollständig auf konkret klassifizierbaren Geoelementen. Es existieren nur wenig Flächen, deren Oberflächenbedeckung nicht sicher festzustellen war. Wie auch im Anhang B erkennbar, findet der Be-

trachter vor allem bei kleinmaßstäbigen Ansichten schnell Parallelen zwischen der Realität und dem Landschaftsmodell. Es ist allerdings zu ergänzen, dass der geringe Anteil an Objekten, deren Position oder Beschaffenheit mittels der Ausgangsmaterialien nicht eindeutig zu definieren war, vor allem das Siedlungsgebiet betrifft. Aus diesem Grund ist der Wiedererkennungswert innerhalb der Ortschaften wahrscheinlich deutlich geringer als er es für das gesamte Bearbeitungsgebiet ist. Dies ist auch auf die, in dieser Arbeit nur geringfügig modellierte, bebaute Fläche zurückzuführen. Im Vergleich zu Fotografien sucht der Betrachter Gebäudedächer und Zäune vergeblich. Das letztgenannte Problem ist, wie in Kapitel 9.2.4 erwähnt, jedoch lösbar. Während das Klassifikationsergebnis nur mithilfe zusätzlicher Primärquellen zu verbessern ist, lassen sich 3D-Objekte wie Gebäude oder Grundstücksumzäunungen jederzeit nachträglich einfügen oder verbessern, ohne das Modell in seiner Gesamtheit erneut aufbauen zu müssen. Der Modellierungs-Workflow für Gebäude existiert in den Werken von Burckhardt (2011) und Schmid (2011) bereits und müsste im besagten Fall nur auf das Karakol-Modell übertragen werden.

Auffällig ist die detailreiche Verkehrsinfrastruktur des Karakol-Modells, welche auch in Kartenwerken unberücksichtigte Feldwege abbildet. Die für das Wegenetz verwendeten Texturen stammen größtenteils von Texturemaat (2012) und besitzen eine hohe Qualität. Ferner war es möglich die importierbaren Brücken und Grabkammern von Dießner (2013) in das Landschaftsbild einzupassen und somit unter anderem die zahlreichen Flussüberquerungen anschaulich zu visualisieren. Ein weiteres Geoobjekt, welches im Rahmen dieser Arbeit neu in den dreidimensionalen Projektraum eingefügt werden konnte, ist der steinige Übergangsbereich zwischen Wiesenfläche und Felshang. Dadurch werden die Berghänge abwechslungsreicher und differenzierter wiedergegeben.

Eine Differenzierung der Nutzflächen innerhalb der Grundstücke konnte hingegen nicht realisiert werden. Abgesehen von der dafür ungeeigneten Auflösung des Satellitenbildmaterials gelang es nicht, Materialien zu erstellen, welche die ungeordneten und ungleichmäßig bewachsenen Felder und Gärten anschaulich sichtbar machen. Das Endergebnis zeigt eher akkurat und einheitlich angelegte Flächen, wobei vor allem Unruhe ein wichtiger Faktor für ein ansprechendes Landschaftsmodell ist (vgl. Mach & Petschek, 2006).

Die Übergänge zwischen unterschiedlichen Höhenlagen sind meist gelungen und mit den jeweiligen Objektklassen abgestimmt. Das TIN wurde an einigen Stellen nachträglich verbessert und gibt, trotz des teilweise unzureichend genauen Digitalen Geländemodells, die

Höhenverhältnisse gut wieder. Beispielsweise wurden dem TIN präzise modellierte Flüsse hinzugefügt. Diese Flussläufe umfassen neben dem Hauptfluss zudem einige der saisonal wasserführenden Nebenzweige, welche charakteristisch für Gewässer im Karakol-Tal sind. Schmid (2011) stellte in seiner Auswertung bereits fest, dass ein höher aufgelöstes DGM die Modellierung im Altai erleichtern würde und jedes Landschaftsmodell letztendlich maximal über dieselbe Qualität wie seine Ausgangsdaten verfügen kann.

Zusätzlich zu den zahlreichen Texturen und Modellen wird die Landschaftsszene durch die in Cinema 4D vorhandene, ortsspezifische Sonnenposition beleuchtet und verleiht ihr damit charakteristische Lichtverhältnisse.

10.2 Eignung der hersteller- und projektseitig geschaffenen Werkzeuge

Teilweise war es notwendig für einzelne Arbeitsschritte auf Werkzeuge zurückzugreifen, welche im Rahmen des Altai-Projektes von Angehörigen der Technischen Universität Dresden selbst erstellt wurden.

Das betrifft vor allem die Integration der Bruchkanten in das Triangulated Irregular Network. Die von Dr. Nikolas Prectel geschaffenen Tools zur Glättung von Stützpunkten, Erstellung von Voronoi-Polygonen und zum Übertragen der Höhenwerte auf Polygonkonturen funktionierten dabei wie gewünscht und erfüllten ihren Zweck sowohl bei der Straßen- als auch bei der Flussmodellierung. Für das vorliegende Karakol-Modell konnte zudem ein neues Werkzeug desselben Autors verwendet werden. Obwohl die Flusspolygone eine verzweigte und unregelmäßige Form besitzen, gelang es die gewünschte Operation, sprich das Festlegen einer Mittellinie, mit Erfolg durchzuführen. Ohne die beschriebenen Werkzeuge hätte sich der Erstellungsaufwand für das GIS-Modell von Karakol definitiv um mehrere Stunden erhöht. Der zuletzt genannte Zweck stellt gleichzeitig auch die einzig feststellbare Schwäche der ArcGIS-Werkzeuge dar. Es existiert bisher keine Operation, mit welcher eine Mittellinie durch ein Polygon, wie beispielsweise einen Flusslauf, gezogen werden kann. Verfügt der Bearbeiter nicht über Alternativen, ist er gezwungen eine Vielzahl einzelner Funktionen auf das jeweilige Polygon anzuwenden.

Abgesehen davon beinhaltet die Softwarekomponente ArcMap jedoch alle notwendigen Werkzeuge für eine Durchführung des an Marcel Schmid's Arbeit (2011) orientierten Workflows. Eine Bearbeitung geographisch benachbarter Gebiete ist aus diesem Grund ohne den Einsatz weiterer Werkzeuge unkompliziert möglich.

10.3 Verbesserungsmöglichkeiten und Ausblick

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass das dreidimensionale Landschaftsmodell von Karakol und Kurata mit Hinblick auf die Zielsetzung zufriedenstellend fertiggestellt wurde. Wie an einigen Stellen in der Dokumentation bereits erwähnt, kann es in bestimmten Bereichen erweitert werden, ohne bisher geschaffene Strukturen neu aufzubauen.

Die notwendigen Speicherkapazitäten vorausgesetzt, ist es beispielweise möglich, bisher nicht betrachtete Landschaftselemente wie Strommasten oder Tankstellen einzufügen. Laut Ervin & Hasbrouck (2001) gehören selbst Kraftfahrzeuge zu einer Landschaft. Solche Objekte finden sich in einem Bearbeitungsgebiet zwar relativ selten wieder und haben in der Regel zudem einen geringen graphischen Anteil am Gesamtbild, steigern aber die Anschaulichkeit enorm. Strommasten wurden auch bereits im Tuekta-Modell von Schubert (2013) aufgestellt.

Selbiges gilt für die Verkehrsinfrastruktur. Bisher werden die unterschiedlichen Wege mittels einfacher prozeduraler Texturen dargestellt. Stehen ausreichend Speicherkapazitäten bei der Berechnung zur Verfügung, könnte ein Bearbeiter durchaus kleinere Steine oder Grasbüschel auf den nicht asphaltierten Straßen platzieren und sie dadurch realistischer aussehen lassen. Bei der Modellierung der Grasflächen wurde bereits der Versuch unternommen, Grashalme dreidimensional zu modellieren. Aufgrund des hohen Datenvolumens glückte das Einfügen von sogenannten Haar-Strukturen für die Gräser bisher allerdings nicht. Im Allgemeinen baut sich Vegetation aus der Baum-, Strauch- und Kräuterschicht auf. Eine Darstellung aller ist für Projekte von solchem Umfang jedoch nicht zu bewerkstelligen und nur bei kleinflächigen, großmaßstäbigen Modellflächen sinnvoll. Die Anzahl der Bäume auf den Polygonen ist variierbar und könnte mit anderen technischen Mitteln weiter erhöht werden, um die Wuchsdichte der Realität anzupassen.

Umso länger über diese Thematik nachgedacht wird, desto größer wird die Liste an Gegenständen, welche sich zusätzlich im Modell platzieren ließen, um dessen Attraktivität zu erhöhen. Selbst kleine, auf den ersten Blick unscheinbare Objekte, wie Pfützen auf der Straße oder Kies, welcher von aufgeschütteten Wegen auf angrenzende Wiesen abrutscht, prägen unbewusst das Landschaftsbild. Das Einfügen eines einzelnen Gegenstandes würde möglicherweise den Gesamteindruck wenig verändern, doch in ihrer Gesamtheit sind solche Details ausschlaggebend für das Erscheinungsbild eines 3D-Landschaftsmodells.

Den archäologischen Fundstellen wurde im bisherigen Verlauf vergleichsweise wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Bei einer weitergehenden Bearbeitung des Karakol-Modells könnten zum Beispiel Modelle für Hügelgräber unterschiedlicher Größe erstellt und importiert werden. Anhand von Luftbilddokumentationen ließen sich wahrscheinlich detailreiche Grabanlagen aufbauen und rendern ohne dabei die Kapazitätsgrenzen der bisher zur Verfügung stehenden Technik zu erreichen.

Literaturverzeichnis

Avci, M., & Akyürek, Z. (2004). A Hierarchical Classification of LANDSAT TM Imagery for Landcover Mapping. *Proceedings, XXth congress / International Society for Photogrammetry and Remote Sensing : Istanbul, 12 - 23 July 2004*, (S. 511-516). Istanbul.

Blaschke, T., Meisner, R., Almer, A., Stelzl, H., Sparwasser, N., Tiede, D., et al. (2006). Kartographie „on demand“: Generierung virtueller Landschaften aus Fernerkundungs- und GIS-Daten. *Aktuelle Entwicklungen in Geoinformation und Visualisierung / GEOVIS 2006*, 5. bis 6. April 2006, Potsdam (S. 27-36). Bonn: Kirschbaum-Verlag.

Buchroithner, M. (1989). *Fernerkundungskartographie mit Satellitenaufnahmen, Teilband 2: Digitale Methoden, Reliefkartierung, geowissenschaftliche Applikationsbeispiele*. Wien: Franz Deuticke.

Burckhardt, M. (2011). *Modellierung ländlicher Siedlungen aus hochauflösenden Satellitenbildern als Baustein einer dreidimensionalen Landschaftsmodellierung. Studienarbeit*. Dresden: Technische Universität Dresden. Institut für Kartographie.

Dießner, L. (2013). *Vom digitalen Landschaftsmodell zur gerenderten 3D-Visualisierung - ein Workflow. Bachelorarbeit*. Dresden: Technische Universität Dresden. Institut für Kartographie.

Dobson, J., & Mamyev, D. (2010). Sacred Valley, Conservation Management and Indigenous Survival: Uch Enmek Indigenous Nature Park, Altai Republic, Russia. *Sacred Natural Sites: Conserving Nature and Culture*, S. 244-253.

Eckhardt, M. (2014). *Cinema 4D R16. Prime - Das Grundlagenbuch*. Heidelberg; München [u.a.]: mitp.

Ervin, S., & Hasbrouck, H. (2001). *Landscape Modelling. Digital Techniques for Landscape Visualization*. New York; London [u.a.]: McGraw-Hill Professional.

Geografiya, Priroda, Istoriya. (2013). Abgerufen am 1. März 2015 von Administraciya Rajona (Ajmaka) Municipal'nogo Obrazovaniya "Ongudajskij Rajon": <http://www.ongudai-ra.ru/geografiya-priroda-istoriya.html>

Grießmann, P. (2007). *Erfassung von Waldstruktur- und Waldzustandsparametern aus Digitalen Luftbilddaten der sachsenweiten Befliegung 2005. Diplomarbeit*. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Kartographie.

Hake, G., Grünreich, D., & Meng, L. (2002). *Kartographie. Visualisierung raum-zeitlicher Informationen*. Berlin, New York: Walter de Gruyter.

Han, J. (2008). Background to UNESCO Preservation of the Frozen Tombs of the Altai Mountain Project and Perspectives for Transboundary Protection through the World Heritage Convention. *Preservation of the Frozen Tombs of the Altai Mountains*, S. 49-54.

Jacobsen, K. (2003). Mapping with IKONOS images. In T. Bernes, *Geoinformation for European-wide Integration* (S. 149-156). Rotterdam: Millpress.

Jettmar, K. (1961). Die Fürstengräber der Skythen im Altai. *Die Umschau in Wissenschaft und Technik* 12, S. 368-371.

Karakol'skoe Sel'skoe Poselenie. (2013). Abgerufen am 1. März 2015 von Administraciya Rajona (Ajmaka) Municipal'nogo Obrazovaniya "Ongudajskij Rajon": <http://www.ongudai-ra.ru/karakolskoe-selskoe-poselenie.html>

Mach, R., & Petschek, P. (2006). *Visualisierung digitaler Gelände- und Landschaftsdaten*. Berlin; Heidelberg [u.a.]: Springer.

Nordberg, Z. (2010). *Digitala tredimensionella visualiseringsmetoder: ett sätt att kommunicera landskap. Examensarbete*. Uppsala: Institutionen för Stad och Land. Landskapsarkitektprogrammet.

Orrmalm, M., & Andersson, L. (2010). Vad avslöjar infraröda flygbilder. *Kart & Bildteknik. Mapping and Image Science*. 2010:4, S. 18-19.

Oster, M. (2007). Ein neues dynamisches Visualisierungssystem zur Online- und Offlinepräsentation interaktiver 3D-Geländemodelle. *Bochumer Geographische Arbeiten. Heft 77*.

Prechtel, N. (2003). GIS-Aufbau für den Naturschutz im Russischen Altai. In N. Prechtel, *Geoinformationssysteme – Theorie, Anwendungen, Problemlösungen. Kartographische*

Bausteine, Bd. 21 (S. 82-100). Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Kartographie.

Prechtel, N. (2015). On strategies and automation in upgrading 2D to 3D landscape representations. *Cartography and Geographic Information Science. Volume 42, Issue 3* , S. 244-258.

Prechtel, N., & Buchroithner, M. (2002). The Contribution of Remote Sensing to Alpine Tourism in Protected Landscapes - The Example of the Altai Mountains. In V. Kaufmann, & W. Sulzer, *Grazer Schriften der Geographie und Raumforschung, Band 37* (S. 15-34). Graz: Karl-Franzens-Universität Graz, Institut für Geographie und Raumforschung.

Prost, G. L. (2013). *Remote Sensing for Geoscientists: Image Analysis and Integration, Third Edition*. Boca Raton: Taylor and Francis, CRC Press.

Schmid, M. (2011). *Landschaft und Archäologie im virtuellen 3D-Modell. Beispiel „Ethno-Nature Park Uch-Enmek“ (Altai, Russland)*. Diplom-Arbeit. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Kartographie.

Schubert, C. (2013). *Vom 3D – Landschaftsmodell zu einer integrativen Web-basierten Informationsapplikation für ein archäologisches Schutzgebiet (Uch Enmek, Republik Altai)*. Diplomarbeit. Dresden: Technische Universität Dresden. Institut für Kartographie.

Texturemaat. (2012). *Texturepacks*. Abgerufen am 15. April 2015 von Texturemaat: http://www.texturemaat.co.uk/tm_shop/texturepacks2012.html

Transliteraciya GOST 7.79-2000. (2000). Abgerufen am 28. März 2015 von Transliteraciya: <http://transliteration.ru/gost-7-79-2000/>

XeNoN. (2005). *Cinema 4D Tutorial: Wassertextur marke Selfmade*. Abgerufen am 11. April 2015 von Designnation: <http://tutorials.designnation.de/workshop/Wassertextur-marke-Selfmade>

Anhang

A) Berechnungen für die Klassifikation mithilfe des ERDAS Imagine ModelMaker:

(„Blau“, „Grün“, „Rot“ & „NIR“ repräsentieren die Werte für die jeweiligen IKONOS-Bänder)

- zur Detektion von Wasser:

$$\text{DELTA (SIGN (Blau - Grün) + SIGN (Grün - Rot) + SIGN ((Rot - Ultrarot) -3) }$$

- zur Detektion von Waldflächen:

$$\text{EITHER 0 IF (NIR == 0.0) OR NIR - Rot / NIR + Rot OTHERWISE}$$

und an dieses Zwischenresultat (kurz: ZR) anschließend:

$$\text{EITHER 0 IF (((ZR - GLOBAL MIN (ZR)) / (GLOBAL MAX (ZR) - GLOBAL MIN (ZR)) * 255) <= 190) OR (Grün >= 320)) OR 1 OTHERWISE}$$

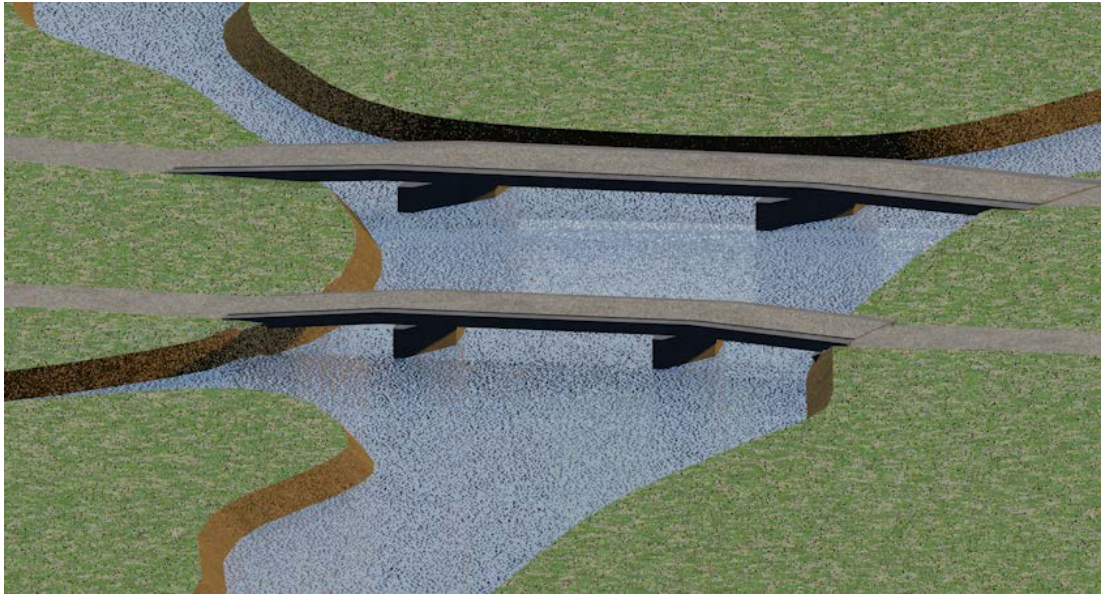
- zur Detektion von steinigem Terrain:

$$\begin{aligned} &\text{EITHER 1 IF (((Blau } \geq 360 \text{) AND (Blau } \leq 420 \text{)) AND} \\ &\text{((Grün } \geq 430 \text{) AND (Grün } \leq 490 \text{)) AND} \\ &\text{((Rot } \geq 300 \text{) AND (Rot } \leq 380 \text{)) AND} \\ &\text{((NIR } \geq 760 \text{) AND (NIR } \leq 960 \text{)))) OR 0 OTHERWISE} \end{aligned}$$

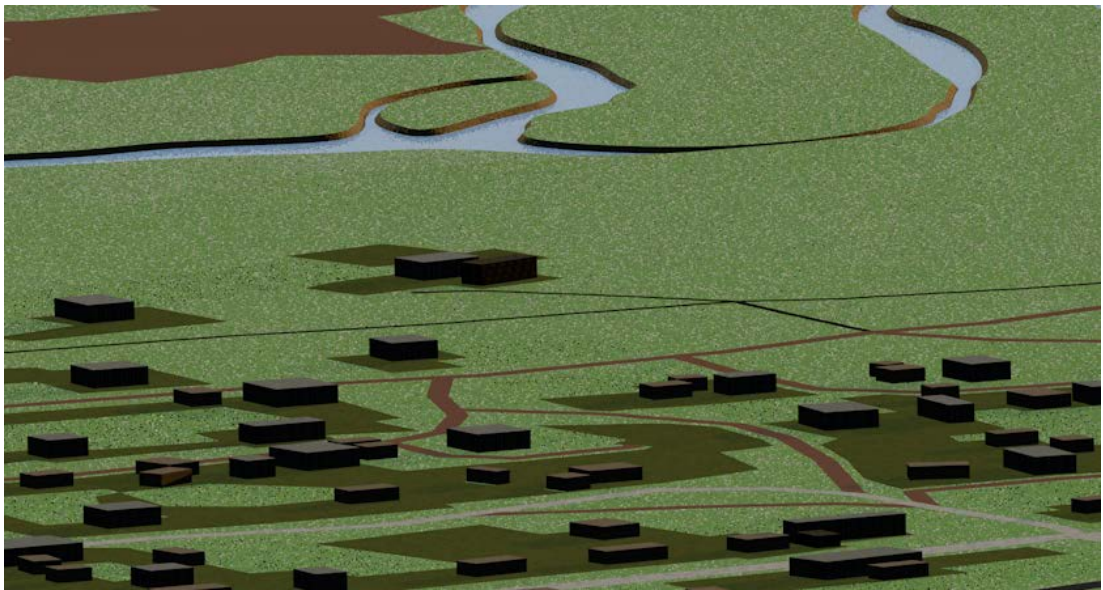
- zur Detektion von felsigen Hängen:

$$\begin{aligned} &\text{EITHER 1 IF (((Blau } \geq 340 \text{) AND (Blau } \leq 420 \text{)) AND} \\ &\text{((Grün } \geq 380 \text{) AND (Grün } \leq 500 \text{)) AND} \\ &\text{((Rot } \geq 270 \text{) AND (Rot } \leq 370 \text{)) AND} \\ &\text{((NIR } \geq 500 \text{) AND (NIR } \leq 640 \text{)))) OR 0 OTHERWISE} \end{aligned}$$

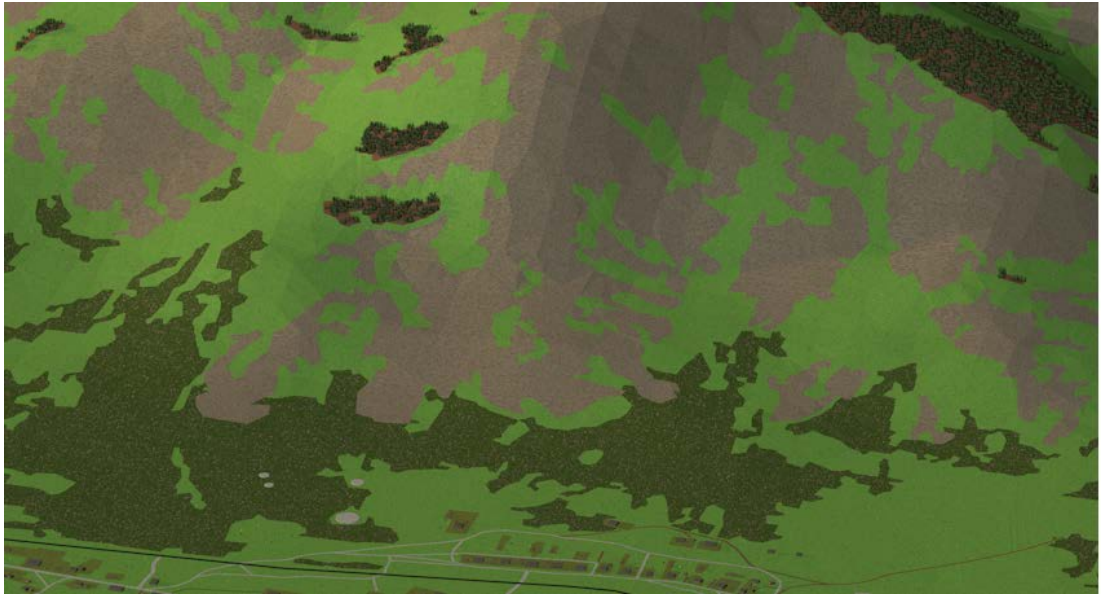
B) mittels Cinema 4D gerenderte Bilder aus dem Karakol-Modell:



südwestlich von Karakol gelegene Brücken über den Fluss Ursul



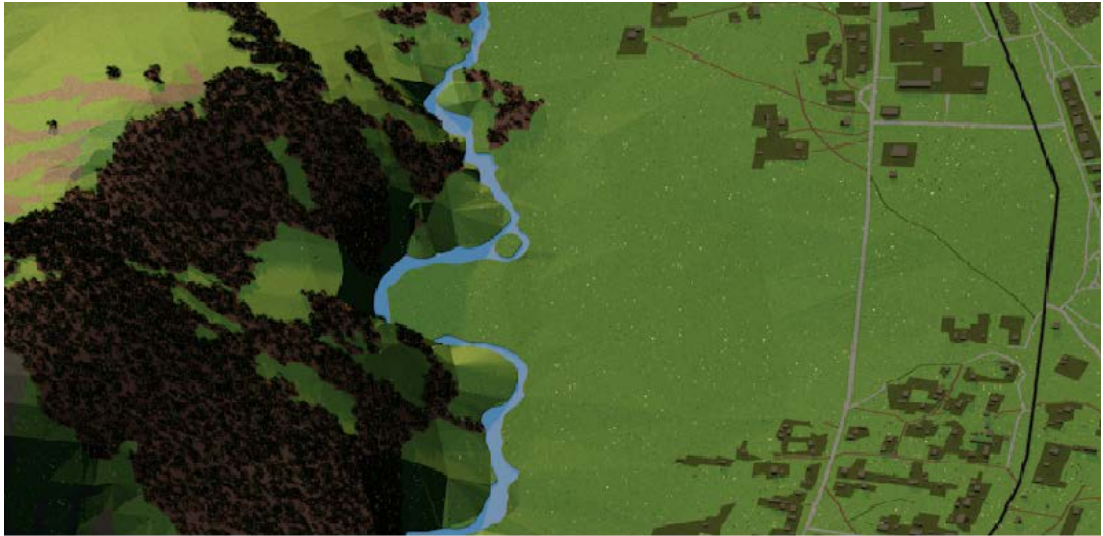
Teil des Ortes Karakol



Gebirgshang nördlich von Karakol



Blick auf den mäandrierenden Ursul-Fluss südlich von Kurata



Ursul-Fluss und Teil des Siedlungsgebietes; gerendert in Cinema 4D (oben) und bei Bing-Maps (unten)